Lane Medical Library 1930

Aus dem Hygienischen Institut der Universität Göttingen.
(Direktor: Geh. Rat Prof. Dr. Reichenbach.)

Über die wärmeisolierenden Eigenschaften neuerer Kleidungsstoffe mit besonderer Berücksichtigung der Wärmestrahlung

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde
einer Hohen Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Hermann Müller
Medizinalpraktikant aus Wesermünde

Göttingen 1930.

Druck der Göttinger Handelsdruckerei.

Referent: Geh. Rat Prof. Dr. Reichenbach.

Tag der mündlichen Prüfung: 15. November 1929.

Pettenkofer und seine Schüler haben sich in Deutschland zuerst mit der Erforschung der Kleidung vom hygienischen Standpunkt aus befaßt. Pettenkofer (1) selbst beschäftigte sich insbesondere mit der Frage des hygroskopischen Wassers in den Kleidungsstoffen. Linroth (2), ein Schüler Pettenkofers, wies nach, daß die Menge des hygroskopisch gebundenen Wassers abhängig ist von der relativen Feuchtigkeit. Boubnoff (3), B. Müller (4) und Nocht (5) bestätigten weitgehend die Ergebnisse Linroths. Reichenbach (6) wies nach, daß die Kleidungsstoffe auch, wenn sie auf dem Körper getragen werden, beträchtliche Mengen Feuchtigkeit aufnehmen.

Pettenkofer (1), wie auch Hiller (7) und Nocht (5) versuchten die Frage der Permeabilität der Kleidung für Luft klarzulegen. Aus den Untersuchungen ist zu entnehmen, daß verschiedene Stoffe in wechselndem Maße für Luft durchlässig sind. Die Unklarheiten, die trotz dieser Untersuchungen noch bestehen blieben, wurden erst durch die Rubnerschen Untersuchungen über das Porenvolumen beseitigt. Eng verbunden mit der Permeabilität ist die Ventilation durch die Kleidung. Schierbeck (8) bestimmte unter Rubners Leitung die Ventilationsgröße der Kleidung, indem er die Kohlensäurekonzentration der Kleidungsluft maß.

Über ein weiteres Gebiet der Kleidungslehre teilte Krieger (9) in seiner Arbeit: „Über die Entstehung von entzündlichen und fieberhaften Krankheiten" einige bemerkenswerte Beobachtungen mit. Coulier in Frankreich und Hammond in Amerika hatten sich schon vor Krieger auf dem gleichen Gebiet betätigt. Kriegers Versuchsanordnung stimmte weitgehend mit der dieser beiden Forscher überein.

Krieger nahm zu seinen Versuchen zwei möglichst gleich gearbeitete Metallzylinder von bestimmter Größe. Diese füllte er fast vollständig mit Wasser. Verschlossen wurden sie mit einem Deckel, der luftdicht auf jedes Gefäß gelötet wurde. Die Deckel enthielten eine Öffnung, durch die ein Thermometer eingeführt wurde, das mit einem Kork im Deckel befestigt war. Die benutzten Thermometer waren genau aufeinander abgestimmt. Damit möglichst wenig Wärme durch den Deckel an die Umgebung abgegeben wurde, wurde er mit mehreren Lagen Flanells bedeckt. Der Boden wurde isoliert, indem der Zylinder auf eine dicke Wollunterlage gestellt wurde.

Diese Kriegersche Arbeit hat merkwürdigerweise neuerdings Anlaß dazu gegeben, die Krieger'sche Versuchsanordnung als den Vorläufer des Frankenhäuserschen Homöotherms oder des Hillschen Katathermometers hinzustellen (Bachmann (10)). Krieger dachte aber garnicht daran, den Einfluß der Klimafaktoren auf die Entwärmung seiner Zylinder zu studieren, sondern er wollte nur den „Einfluß der zu prüfenden Substanz — (d. h. der um den Zylinder gespannten Gewebe) – auf die Wärmeabgabe untersuchen.

Mit Hilfe seiner Apparatur suchte Krieger die relative Wärmeleitfähigkeit und die relative Strahlung verschiedener Kleidungsstoffe zu bestimmen. Ein Versuch zur Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit ging folgendermaßen vor sich. Ein Zylinder wurde auf 45 - 46 Grad erwärmt, dann wurde er ein erstes Mal mit einer Schicht Flanell umhüllt und an seinem Platz im Abkühlungsraum aufgestellt, der stets die gleichen Verhältnisse darbot. Mit dem Beginn der Ablesungen wurde 5 – 15 Minuten gewartet, bis der Stoff sich gleichmäßig durchwärmt hatte. Von diesem Zeitpunkt ab wurde die Zeit gemessen, innerhalb deren sich das Gefäß um eine bestimmte Anzahl Grade abgekühlt hatte. Bei einem zweiten Male wurde statt einer Lage Flanell zwei Lagen Flanell um den Zylinder gespannt. Die übrige Versuchsanordnung war dieselbe. Es wurde jetzt wieder gewartet, bis das Gefäß sich um die bestimmte Anzahl von Graden abgekühlt hatte. Die Zimmertemperatur war bei beiden Versuchen konstant. Die Verzögerung der Abkühlungszeit, die der Zylinder bei zwei Lagen erfuhr, wurde als Maß für die Wärmeleitfähigkeit des Flanells genommen. Auf die gleiche Weise wurde die Wärmeleitfähigkeit anderer Stoffe bestimmt, indem die untere Flanellage durch einen anderen Stoff ersetzt wurde.

Zur Bestimmung des Wärmestrahlungsvermögens überzog Krieger einen Zylinder gleichzeitig mit zwei Stoffen. Einmal war der eine Stoff nach außen gewandt, ein zweites Mal der andere. Aus der Differenz der Wärmeabgabe in der Zeiteinheit wurde die relative Strahlungsfähigkeit der beiden Stoffe zueinander berechnet.

Krieger selbst war sich verschiedener Mängel bei seinem Verfahren bewußt. In seiner Arbeit hebt er besonders die mangelhafte thermische Isolation der Grundflächen des Zylinders hervor. Eine weitere Fehlerquelle – er versäumte, das Wasser im Abkühlungsgefäß zu mischen – scheint ihm nicht bekannt gewesen zu sein. Schuster (11) hat besonders hierauf hingewiesen. Das

Wasser kühlt sich nicht etwa gleichmäßig ab, sondern es treten unregelmäßige Strömungen auf, weil das spezifisch schwerere kalte Wasser nach unten sinkt. Diese Strömungen treten aber auch nicht etwa in gleicher Verteilung bei jedem Versuch ein, sondern sie ändern sich jedesmal.

Bei der Aufstellung der Formel, die er seinen Versuchen zugrunde legte, zog Krieger absichtlich nicht den Wasserwert der Gefäße und der zu prüfenden Stoffe in den Kreis seiner Überlegungen. Krieger nahm an, daß die Verzögerung der Abkühlung, die eintrat, wenn er zwei Schichten Flanell statt einer um den Zylinder spannte, allein der Wärmeleitfähigkeit der neu eingeführten Stoffschicht zuzuschreiben sei. Er beachtete nicht, daß er mit dieser neuen Lage eine ruhende Luftschicht neu einführte, die besonders wärmeisolierend wirkte. (Schuster (11)). Die Verzögerung der Abkühlungszeit war also nicht allein auf Rechnung der Stoffschicht zu setzen. Durch diese zweite Lage wurde aber auch die Oberflächentemperatur geringer, als wenn der Zylinder nur einfach umhüllt war. Dadurch wurde aber die Wärmemenge, die durch Strahlung verloren ging, veringert. Dies spielte auch eine Rolle, wenn statt der unteren Flanellschicht eine Lage anderen Stoffes mit anderem Leitungsvermögen eingeführt wurde.

Bei den Strahlungsversuchen ist die von Krieger als Vergleichsmaß angenommene Größe, die in der Zeiteinheit abgegebene Wärmemenge, bei den Mängeln der Apparatur doch wohl zu klein, um den Einfluß der verschiedenen Strahlung der einzelnen Stoffe zur Geltung zu bringen.

Nach dem gleichen System wie Krieger arbeitete auch Schuster (11) in späteren Jahren. Er benutzte auch einen mit Wasser gefüllten Zylinder, der auf eine gewisse Temperatur erwärmt wurde und sich dann langsam abkühlte. Beobachtet wurde der Temperaturabfall in gleichen Zeiten. Die Fehler der Kriegerschen Versuchsanordnung suchte Schuster möglichst zu vermeiden. Insbesondere wurde während der Versuchsdauer das Wasser im Zylinder in steter Bewegung gehalten, sodaß wirklich im ganzen Zylinder die gleiche Temperatur herrschte. Unregelmäßige Luftströme suchte er dadurch fernzuhalten, daß er das Abkühlungsgefäß in bestimmter Entfernung mit einem wassergefüllten Zylindermantel umgab. Der Zylinder wurde stets nur mit einer Stofflage bespannt. Auch wurden die beiden Grundflächen stets mit demselben Stoff überzogen, es trat infolgedessen durch sie kein unkontrollierbarer Wärmeverlust auf. Der Zylinder

war nicht blank poliert wie der Kriegersche, sondern mit einem Überzeug aus Chagrinleder versehen.

Zu einem Versuch wurde auf den erwärmten Zylinder ein Stoff gespannt. Wenn der Zylinder sich dann soweit abgekühlt hatte, daß seine Innentemperatur dreißig Grad über der Raumtemperatur lag, wurde mit den Beobachtungen begonnen. Es wurde jeweils in Abständen von 5 Minuten die Zylinderinnentemperatur von einem Thermometer abgelesen, daß durch den Deckel in das Innere eingeführt war. Die Ablesungen wurden durch ein Fenster vom Nebenraum aus vorgenommen. Die Zimmertemperatur änderte sich während eines Versuches nicht.

Gegen die Art, wie Schuster seine Untersuchungen vornahm, lassen sich keine Einwendungen vorbringen. Die von Schuster gefundenen Werte zeigen sehr gut, wie ein nacheinander mit verschiedenen Stoffen umhüllter warmer Körper sich bei niedrigerer Umgebungstemperatur nicht gleichmäßig abkühlt, sondern jeder Stoff den Gang der Erwärmung gegenüber anderen Stoffen verlangsamt oder beschleunigt.

Schuster glaubte, aus den von ihm gefundenen Zahlen den Wärmedurchgangskoeffizienten in absolutem Maße berechnet zu haben. Das ist aber nicht richtg worauf Reichenbach (12) aufmerksam gemacht hat, denn die Zahlen Schusters geben nicht etwa „die Wärmemengen an, die durch einen Würfel des betreffenden Stoffes von 1 cm Seite bei einer Temperaturdifferenz zweier gegenüberliegenden Flächen von 1 Grad in der Minute hindurchgehen, sondern diejenige Wärmemenge, die ein Würfel der angegebenen Größe durch Strahlung und Leitung an einer Fläche verliert, wenn die Temperaturdifferenz zwischen der Umgebung dieser Fläche und der gegenüberliegenden 1 Grad beträgt".

Sowohl die Untersuchungen Kriegers und Schusters über das Wärmehaltungsvermögen der Stoffe, wie auch teilweise die Untersuchungen über Permeabilität und Verhalten zu Wasser, krankten daran, daß auf einige grundlegende Eigenschaften der Stoffe kein Wert gelegt wurde. Man kam dazu, Eigenschaften, die man an einem Gewebe festgestellt hatte, auf die Grundstoffe zurückzuführen. Wenn man fand, daß ein Wollgewebe besser warm hielt als ein Seidengewebe, sagte man einfach, Wolle hat ein geringeres Wärmeleitungsvermögen als Seide. Die Untersucher verglichen die Ergebnisse, die sie für ein von ihnen untersuchtes Baumwollgewebe gefunden hatten, mit denen, die ein anderer ebenfalls bei seinen Untersuchungen mit Baumwollgewebe erhalten hatte. Sie beachteten aber nicht, daß 2 Arten Baum-

wollgewebe weiter in ihren Eigenschaften entfernt sein können, als etwa ein Seidengewebe von einem Baumwollgewebe.

Solche Vergleiche wurden unmöglich, als Rubner (13) verlangte, daß für jeden Stoff einige Grundeigenschaften festgestellt werden sollten. Er maß zunächst einmal die Dicke der Stoffe. Vor ihm hatte Schuster (11) schon darauf hingewiesen. Schuster kam aber auf Grund seiner falschen Rechnungsergebnisse zu dem irrtümlichen Schluß, daß Gewebe gleicher Dicke aus verschiedenen Grundstoffen die Wärme gleich gut leiteten. Ihm entging, daß die Stoffe zwar gleiche Dicke haben konnten, aber deshalb in anderen wesentlichen Eigenschaften doch nicht übereinzustimmen brauchten. Rubner fand, daß das spez. Gewicht der Stoffe weitgehend schwankte, obwohl das spez. Gewicht der Grundstoffe fast gleich war. Es konnte sich also nur darum handeln, daß die Gewebe verschiedene Mengen Luft enthielten. Aus dem spez. Gewicht der Grundstoffe und der Gewebe ließ sich auf einfache Weise der von der Luft im Gewebe eingenommene Raum, das Porenvolumen, berechnen. Die Berechnung des Porenvolumens beseitigte sofort einige Unklarheiten, die man bei der Untersuchung der Permeabilität feuchter Stoffe für Luft gefunden hatte. Flanellstücke nahmen eine viel größere Wassermenge auf als gleich große Leinwandstücke, trotzdem blieb Flanell durchlässig für Luft, während die Leinwand vollkommen impermeabel war. Der Grund wurde jetzt klar: obwohl größere Wassermengen aufgenommen worden waren, blieben bei Flanell sehr viele Poren frei, während bei Leinwand das Porenvolumen auf Null sank.

Nachdem Rubner auf diese Weise für jedes Gewebe einige feststehende Daten erhalten hatte, bemühte er sich, andere, besonders die thermischen Eigenschaften klarzulegen. Zunächst beschäftigte Rubner (14) sich mit der Wärmestrahlung der Stoffe. Er maß den durch die Wärmestrahlung in einem Thermoelement erzeugten Strom mittels eines Spiegelgalvanometers. Besondere Sorgfalt verwandte er darauf, die ausstrahlende Oberfläche auf der gleichen Temperatur zu halten. Wie weit ihm das gelungen ist, habe ich später darzulegen versucht. Wie schon Krieger spannte auch er stets zwei Stoffe auf eine Seite eines Leslieschen Würfels, der auf 100 Grad Innentemperatur gehalten wurde. In einem Versuch strahlte die Oberfläche des ersten Stoffes, in einem zweiten Versuch nach Vertauschung der Stoffe die des anderen. Auf diese Weise gelangte er zu relativen Werten.

Von diesen relativen Werten gelangte Rubner (15) zu den

absoluten, indem er das relative Verhältnis von Ruß zu Baumwolle ermittelte. Dann konnte er, da die Strahlungsmenge des Russes in absolutem Maß bekannt war, die Strahlung der Baumwolle berechnen. Aus den relativen Verhältnissen der anderen Gewebe zu Baumwolle, konnte er auch deren Strahlung in absolutem Maß berechnen.

Neben der Strahlung interessierte Rubner besonders die Wärmeleitfähigkeit der Stoffe. Darüber herrschten damals ganz abenteuerliche Vorstellungen. Man nahm nach den Untersuchungen von Péclet an, daß das Wärmeleitungsvermögen der Grundstoffe gleich dem stagnierender Luft, ja daß es noch geringer sei, sodaß danach ein Stoff um so schlechter die Wärme leitete, je weniger Luft er enthielt. Schuhmeister (16) hatte schon auf Grund von Kalorimeterversuchen gefunden, daß die Grundstoffe erheblich bessere Wärmeleiter wären als die Luft. Seine Ergebnisse waren aber nicht beachtet worden. Mit derselben Methodik bestimmte nun Rubner (17) das absolute Leitungsvermögen der Grundstoffe. Sein Kalorimeter bestand aus einem größeren Zylinder, in den luftdicht ein zweiter kleinerer eingeführt war. Der Innenzylinder diente als Luftthermometer. Er stand mit der Außenwelt durch ein knieförmig gebogenes Glasrohr in Verbindung, das in ein Quecksilbergefäß tauchte. Sank die Temperatur im Innenzylinder, so stieg das Quecksilber nach, weil die Luft im Zylinder jetzt ein geringeres Volumen einnahm. Um den Fehler, der durch die Strahlung von Wand zu Wand im Kalorimeterhohlraum bei Luftfüllung entstand, möglichst zu verkleinern, wurde der Abstand des Innenzylinders vom Außenzylinder möglichst gering bemessen.

Das Ergebnis der Untersuchungen war, daß das absolute Leitungsvermögen – d. h. die Wärmemenge, die durch die Dicke eines cm bei 1 cm^2 Fläche hindurchgeht, wenn die Temperaturdifferenz beider gegenüberliegenden Flächen 1 Grad C. beträgt – der Rohstoffe erheblich größer als das der Luft war. Weiterhin ergab sich, daß jeder Rohstoff ein spez. Leitungsvermögen besaß, Wolle leitete die Wärme am schlechtesten, Baumwolle sehr viel besser, während die Seide einen mittleren Platz einnahm. Wurden Luftstoffgemische mit dem gleichen Rohstoff aber mit verschiedenem Mengenverhältnis zwischen Luft und Rohstoff auf ihr Verhalten geprüft, so war die Wärmeleitung um so schlechter, je mehr Luft vorhanden war, bez. je geringer das spez. Gewicht des Gemisches war. Derselbe Schluß ergab sich auch aus den Versuchen mit Geweben (Rubner (18)). Die bessere oder schlechtere

Leitfähigkeit der Grundstoffe konnte durch einen verschiedenen Luftgehalt ausgeglichen werden. Bei dem gleichen Luftgehalt sank das Leitungsvermögen mit zunehmender Dicke.

Trotz aller physikalischen Untersuchungen an Geweben und Rohstoffen war es an und für sich nicht klar, ob die Kleidung wirklich dem angenommenen Zweck diente, die Wärmeabgabe des Körpers einzuschränken. Geigel (19) schloß aus Kalorimeterversuchen am bekleideten und unbekleideten Arm, daß der menschliche Körper bekleidet und unbekleidet gleichviel Wärme verliere. Der Zweck der Kleidungsstoffe sollte nur darin bestehen, eine angenehme Hauttemperatur zu erhalten. Wenn diese Anschauung zu Recht bestand, war jede Kleidungsforschung eigentlich überflüssig, jedenfalls so weit das thermische Verhalten in Frage kam.

Rumpel (20) wiederholte mit etwas veränderter Technik die Versuche Geigels.. In zwei gleich gearbeitete Luftkalorimeter wurden gleichzeitig beide Arme gesteckt. Ein Arm war bekleidet, der andere nicht. Stets gab der unbekleidete Arm mehr Wärme an das Kalorimeter ab, als der bekleidete. Bei der großen Zahl der Untersuchungen wurde stets das gleiche Ergebnis erhalten.

Der Körper verhielt sich also auch nicht viel anders als ein ständig auf gleicher Innentemperatur gehaltener Zylinder. Auch die thermischen Eigenschaften der Kleidung konnten also ruhig auf physikalischem Wege festgestellt werden.

Besonders durch die schon geschilderten Arbeiten Rubners wurden diese auch für alle möglichen Arten Gewebe aus Wolle, Baumwolle und Seide bestimmt und dadurch die Kleidungsforschung zu einem gewissen Abschluß gebracht. In den letzten 10 Jahren tritt nun in zunehmendem Maße zu den ebengenannten Grundstoffen noch die Kunstseide als Ausgangsmaterial für Gewebe und aus diesen angefertigten Kleidern. Es ist deshalb notwendig, darüber ins Klare zu kommen, wie sich dieser Grundstoff und die daraus verfertigten Gewebe in hygienischer Beziehung verhalten.

Wie aus den eben geschilderten Arbeiten hervorgeht, hat man sich zur Untersuchung des thermischen Verhaltens der Stoffe bisher zweier Methoden bedient, entweder der Krieger-Schusterschen, die die verschieden schnelle Abkühlung eines über Umgebungstemperatur erwärmten wassergefüllten Zylinders bestimmt, wenn er mit verschiedenen Stoffen umhüllt ist, oder der Kalorimetermethode, wie sie besonders von Rubner geübt wurde. Die erstere Untersuchungsmethode trägt besser der Tatsache

Rechnung, daß die Gewebe, wenn sie als Kleidungsmaterial gebraucht werden, sowohl durch Leitung wie durch Strahlung Wärme abgeben, da sie die Summe dieser beiden Arten der Wärmeabgabe mißt. Der Teil der Wärme, der durch Wasserverdunstung verloren geht, läßt sich weder mit dieser Anordnung noch mit der Kalorimetermethode feststellen. Die letztere mißt nur durch Wärmeleitung verlorengegangene Wärme.

Ich habe mich zunächst bei einigen Versuchen des Verfahrens bedient, wie es Schuster anwandte. Der von mir benutzte Zylinder ist in mehrfacher Hinsicht gegenüber dem Schusterschen verändert. Er geht zurück auf einen Apparat, der im Göttinger hygienischen Institut benutzt wurde, um den „Wärmeverlust durch die Witterung zu registrieren" (Reichenbach (21)). Für den vorliegenden Zweck, die Veränderung der Wärmeabgabe zu messen, war er zweckentsprechend umgeändert worden. Es handelt sich um einen 14,2 cm langen Kupferhohlzylinder von 6,5 cm Durchmesser, der versilbert und dann auf Hochglanz poliert war. Die Grundflächen des Zylinders waren besonders gut isoliert, sodaß durch sie fast kein Wärmeverlust eintrat. Praktisch wurde also alle Wärme von der versilberten Fläche abgegeben. Der Zylinder war mit Paraffinöl gefüllt. Dieses wurde genommen, weil es gegenüber dem Wasser einen viel höheren Siedepunkt hat und daher bei einer Temperatur von 38 Grad, wie sie bei der Erwärmung des Zylinders erreicht wurde, nicht merklich verdampfte.

Da das Paraffin absoluter Nichtleiter ist, konnte die Erwärmung des ganzen Apparates mittels eines Heizwiderstandes besorgt werden, der in Form einer Spirale im Zylinder verlief und vollkommen in das Paraffin eintauchte. Sobald das Paraffin nach Einschaltung der Heizung eine Temperatur von 38 Grad erreicht hatte, wurde durch ein Kontaktthermometer ein Widerstand in den Stromkreis eingeschaltet. Der dadurch geschwächte Strom genügte nicht mehr, um die Temperatur aufrecht zu erhalten oder zu erhöhen. War das Gefäßinnere dann etwa auf 37,8 Grad abgekühlt, so übte das Kontaktthermometer keine Wirkung mehr aus, automatisch wurde wieder die große Heizung eingeschaltet. Auf diese Weise war es möglich, den Zylinder beliebig lange Zeit auf einer Innentemperatur von nahezu 38 Grad zu halten. Hierdurch wurde auch erreicht, daß ein großer Teil des im Gewebe vorhandenen hygroskopischen Wassers vor Beginn des Abkühlungsprozesses verdunstet war.

Während der gesamten Versuchszeit wurde das Paraffin

durch ein sich drehendes Flügelrad durcheinandergemengt. Temperaturdifferenzen bestanden also nicht im Paraffin. Die Achse des Flügelrades ging durch eine Öffnung der oberen Isolierschicht und wurde von außen durch einen kleinen Elektromotor angetrieben. Durch ein zweites Loch in der oberen Isolierschicht war ein Quecksilberthermometer eingeführt, um die Innentemperatur zu messen. Das Thermometer war in Zehntelgrade eingeteilt. Durch ein drittes Loch tauchte das Kontaktthermometer in das Paraffin ein. Alle Öffnungen waren fest durch Korken abgedichtet.

Der Versuchsraum war ein Zimmer des hygienischen Institutes, das vollkommen getrennt von den übrigen Räumen einen Stock tiefer lag. Nach Westen war ein großes Fenster, nach Osten führte eine Tür in einen Vorraum, der ein Fenster nach Osten hatte, die Nord- und Westseite des Zimmers hatte starke Brandmauern. Da das Zimmer morgens keine Sonne empfing, herrschte während des ganzen Vormittags fast völlige Temperaturkonstanz. Schien nachmittags die Sonne, so stieg die Temperatur etwas an. An regnerischen Tagen änderte sich auch nachmittags die Temperatur nicht. Wenn nicht ein starker Witterungsumschlag eintrat, war die Temperatur sogar während mehrerer Tage dieselbe. Alle übrigen Verhältnisse im Zimmer waren stets die gleichen während einer Versuchsreihe.

Der Abkühlungszylinder stand stets am gleichen Platz im Zimmer, etwa in der Mitte zwischen Fenster und Tür, auf einem Tisch. Wegen der Raumverhältnisse im Zimmer war er der Nordwand etwas mehr genähert. Um regelmäßige Abkühlungsbedingungen herzustellen, hatte Schuster (11) seinen Zylinder mit einem mit Wasser gefüllten Hohlzylinder umgeben. Er hatte nämlich gefunden, daß seine Abkühlungskurven, wenn er das Gefäß frei im Zimmer aufstellte, unregelmäßig verliefen. Da bei meinen Versuchen auch ohne diesen Hohlzylinder keine größeren Unregelmäßigkeiten auftraten, wurde ein solcher nicht benutzt.

Die Ablesungen des Thermometers, das die Innentemperatur des Zimmers anzeigte, und eines zweiten Thermometers in 1/2 m Entferung vom Abkühlungsgefäß zur Messung der jeweiligen Zimmertemperatur wurden aus einer Entfernung von 2,5 m mittels Kathetometer vorgenommen. Neben diesem Ablesungsfernrohr saß während der ganzen Versuchsdauer die beobachtende Person ruhig auf einem Stuhl, um keine unnötigen Luftbewegungen zu verursachen. Eine Erhöhung der Zimmertemperatur trat während eines Versuches höchstens um 0,1 Grad ein.

Jeder Abkühlungsversuch begann mit der Feststellung der Zimmertemperatur, dann wurde der Strom für die Heizung eingeschaltet und der Motor für das Rührwerk in Betrieb gesetzt. War das Paraffin bis zu der konstanten Temperatur von 38 Grad aufgeheizt, wurde der Heizstrom noch 20 – 30 Minuten laufen gelassen. Dann wurde vom Platz bei dem Kathetometer aus abgestellt. Jetzt wurde wiederum 10 Minuten gewartet und dann erst mit Ablesungen begonnen. Das Rührwerk lief natürlich ununterbrochen weiter. Alle 2 Minuten wurde jetzt einmal die Innentemperatur des Zylinders festgestellt. Während der Ablesung wurde das Thermometer mittels eines kleinen Scheinwerfers scharf beleuchtet. Von 5 zu 5 Minuten wurde auch die Zimmertemperatur beobachtet.

Die Versuche wurden in gleicher Art vorgenommen, ob der Zylinder mit Stoff überzogen war oder nicht. Die Stoffe wurden stets vor Beginn eines Versuches auf den Zylinder gespannt. Diese Arbeit wurde stets von der gleichen Person vorgenommen. Hierdurch wurde erreicht, daß die Spannung, unter der die Stoffe nach dem Anlegen standen, nur sehr kleinen Schwankungen unterworfen war.

Tabelle 1 gibt die Abkühlungsdaten des Zylinders von drei verschiedenen, auf die eben beschriebene Art vorgenommenen Versuchen. Einmal ist der Zylinder unbekleidet, bei den beiden anderen Versuchen ist er mit Geweben bespannt, und zwar bei dem Versuch b mit einer Kunstseide (Bembergseide), bei dem Versuch c mit einem Mischgewebe aus Kunstseide und Baumwolle (Bemberg-Indiana). (Einige physikalische Daten dieser Stoffe siehe T. 4.) Die erste Zahlenreihe gibt die Zeit in Minuten an, die seit dem Augenblick der ersten Ablesung verflossen ist und in der der Zylinder die in der zweiten Zahlenreihe angegebene Innentemperatur (in Grad C.) erreicht hat. Vergleicht man die Zahlenreihen miteinander, so ergibt sich, daß der unbekleidete Zylinder in dreißig Minuten sich um 8,95 Grad abgekühlt hat, während er bespannt mit weißer Bembergseide oder weißer Bemberg-Indiana in 30 Minuten seine Innentemperatur um 11,48 bez. 10,08 Grad vermindert hat, obwohl die Raumtemperatur wie auch die Ausgangstemperatur fast gleich war. Der Zylinder hatte sich also mit Stoffen bespannt stärker abgekühlt als ohne Stoffe, mit anderen Worten die Geschwindigkeit der Abkühlung war größer geworden. Genau dasselbe ersieht man aus Abbildung 1 und 2, die kurvenmäßig die Abnahme der Innentemperatur des unbekleideten und bekleideten Zylinders

Tabelle 1.

Min.	a Raum-Temp.: 12,7 t° C.	b Raum-Temp.: 12,5 t° C.	c Raum-Temp.: 12,6 t° C.
0	36,7	37,3	37,0
2	35,87	36,1	35,85
4	35,09	35,0	34,85
6	34,35	34,05	33,9
8	33,65	33,1	33,03
10	33,0	32,21	32,2
12	32,39	31,4	31,45
14	31,8	30,65	30,7
16	31,2	29,9	30,0
18	30,63	29,23	29,32
20	30,1	28,6	28,71
22	29,6	28,0	28,12
24	29,12	27,41	27,55
26	28,65	26,84	27,03
28	28,2	26,31	26,51
30	27,75	25,82	26,02

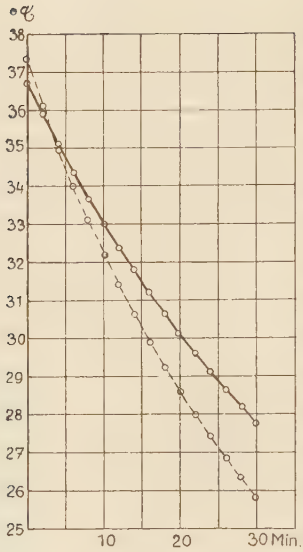
Tabelle 1 Abkühlungsdaten
a) des unbekleideten Zylinders
b) des Zylinders, bespannt mit weißer Bembergseide
c) des Zylinders, bespannt mit weißer Bembergindiana.

darstellen. Die Abkühlungskurve des bekleideten verläuft in der gleichen Zeit viel steiler als die des unbekleideten.

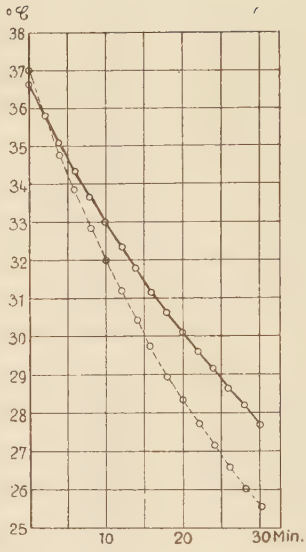
Sehr schön kommt diese Tatsache auch zum Ausdruck, wenn man nach der Newtonschen Abkühlungsformel die Abkühlungskonstanten berechnet. Die Newtonsche Abkühlungsformel stellt eine Beziehung her zwischen der Ausgangstemperatur t_1 und der in einer gewissen Zeit c erreichten Temperatur t_2 eines sich abkühlenden Körpers und der Temperatur t_0 der Umgebung, in der die Abkühlung stattfindet. Eine Form der Formel lautet:

$$k = \frac{1}{c} \cdot \log \frac{t_1 - t_0}{t_2 - t_0}$$

k bedeutet in dieser Formel den Bruchteil eines Temperaturgrades, um den sich die Temperatur des abkühlenden Körpers



Abbild. 1. Abkühlungskurven des Zylinders:
——— nackt
- - - - - bespannt mit Bembergseide
Abzisse = Minuten
Ordinate = Innentemperatur.



Abbild. 2. Abkühlungskurve des Zylinders:
——— nackt
- - - - - bespannt mit Bembergseide
Abzisse = Minuten
Ordinate = Innentemperatur in ^{0} C.

in der Zeiteinheit vermindern würde, wenn die Temperaturdifferenz zwischen der Körpertemperatur und Umgebungstemperatur 1 Grad beträgt. Nach der theoretischen Ableitung soll dieses k für eine Abkühlungsreihe konstant sein.

Nach der soeben genannten Formel sind die Werte k der Tabelle 2 nach den Zahlenangaben der Tabelle 1 berechnet worden. Man sieht aus dieser Tabelle ohne weiteres, daß die Werte für die Konstante beim unbekleideten Zylinder am niedrigsten sind, während sie für den mit Stoff bespannten Zylinder um 25 % höher liegen. Die Wärmeabgabe des Zylinders, bespannt mit dem Mischgewebe aus Kunstseide und Baumwolle, ist durchgehends etwas kleiner als bei der Umkleidung mit dem reinen Kunstseidengewebe. Ganz deutlich ergibt sich also auch hier, daß der unbekleidete Zylinder weniger Wärme abgibt als der bekleidete Zylinder.

Diese paradoxe Erscheinung ist schon sehr frühzeitig beobachtet

Tabelle 2.

Min.	a k_a	b k_b	c k_c
2	765 n	1080 n	1040 n
4	750 n	1060 n	1000 n
6	745 n	1020 n	983 n
8	737 n	1010 n	951 n
10	727 n	998 n	951 n
12	716 n	983 n	933 n
14	709 n	968 n	926 n
16	706 n	962 n	918 n
18	703 n	950 n	912 n
20	699 n	939 n	902 n
22	692 n	928 n	893 n
24	687 n	921 n	886 n
26	682 n	915 n	887 n
28	678 n	908 n	872 n
30	676 n	900 n	866 n

Tabelle 2 Abkühlungskonstanten
a) für den unbekleideten Zylinder,
b) für den Zylinder, bespannt mit Bembergseide,
c) für den Zylinder bespannt mit Bemberg-Indiana.

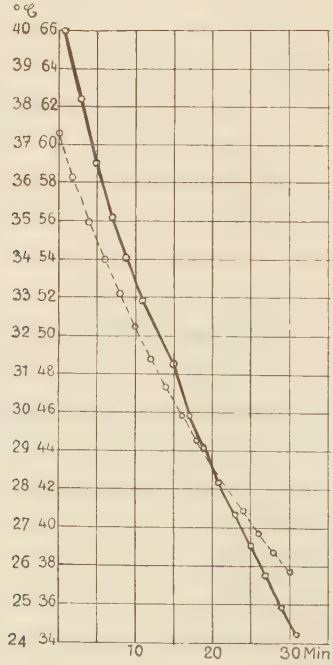
worden. Schon Krieger (9) fand, daß eine erwärmte, wassergefüllte, blankpolierte Blechbüchse sich unter denselben Bedingungen langsamer abkühlte als eine zweite gleich gearbeitete, die mit Flanell überzogen war. Krieger führt in seiner Arbeit an, daß schon Melloni dieselbe Tatsache festgesellt habe.

Krieger glaubt, daß die Strahlung der veranlassende Faktor sei. Er versuchte auch schon quantitativ die Verhältnisse zu erfassen, er konnte aber wegen seiner mangelhaften Methodik zu keinen genauen Ergebnissen gelangen.

Daß die Strahlung die Erscheinung wirklich bedingt, geht aus dem Verhältnis der Strahlung des unbekleideten zu der des bekleideten Zylinders hervor. Die Spannung, die durch die Wärmestrahlung eines Stückes des unbekleideten Zylinders in einer Thermosäule erzeugt wurde, ergab 10 Teilstriche Ausschlag an einem angeschlossenen Saitengalvanometer. War der Zylinder mit einem Stoff überzogen, bot aber sonst die gleichen Verhältnisse, stieg

der Ausschlag auf 70 Teilstriche. (Über die genaue Versuchsanordnung siehe Seite 32). Die Wärmeabgabe durch Strahlung war also um das Siebenfache vergrößert worden. Dieser Einfluß der Strahlung ist aber genügend, um eine schnellere Abkühlung des Zylinders zu bewerkstelligen. Daß der Zylinder etwa durch vermehrte Leitung sich bei Stoffbespannung schneller abkühlte, dürfte ausgeschlossen sein, da Messungen der Oberflächentemperaturen ergaben, daß bei gleicher Innentemperatur die Oberfläche der Stoffumspannung stets weniger warm war als die des unbekleideten Zylinders.

Schuster (11) fand bei seinen Versuchen stets eine Hemmung der Wärmeabgabe. Sein Zylinder war aber auch nicht glatt poliert, sondern trug auf dem Metall aufgeleimt eine Schicht Chagrinleder, die wahrscheinlich kein schlechteres Strahlungsvermögen besitzt wie die Kleidungsstoffe. Auf diese Weise kam nur die wärmeschützende Wirkung zur Geltung.



Abbild. 3. Kurvenmäßige Darstellung der Strahlung (—) bei Abnahme der Innentemperatur (- - -). Strahlung im Ausschlag eines Galvanometers. Innentemperatur in °C.

Die Strahlung erklärt aber auch noch einige andere Eigentümlichkeiten, die sich in Tabelle 2 finden. Bei Betrachtung der Abkühlungskoeffizienten fällt auf, daß sie mit zunehmender Abkühlung des Zylinders kleiner werden, also nicht, wie man nach dem Newton'schen Gesetz erwarten sollte, eine Konstante bilden. Wie kommt diese Abnahme zustande? In Abbildung 3 ist dargestellt die Abnahme der Innentemperatur des mit weißer Bembergseide überzogenen Abkühlungsgefäßes zusammen mit dem Verhalten der Oberflächenstrahlung im Verlauf der Abkühlung. Die Wärmestrahlung ist gemessen an der Größe der elektrischen Spannung, die sie beim Auffallen auf eine Thermosäule erzeugt. Man erkennt, daß die Strahlung bei den höheren Innentemperaturen einen größeren Teil an der Gesamtwärmeabgabe ausmacht als bei niedrigeren Innentemperaturen. Die Wärmeabgabe durch Strahlung sinkt also relativ viel stärker als die durch Leitung. Dadurch wird im Verlauf des Erkaltens des Zylinders die Gesamtwärmeabgabe relativ kleiner, als wenn Strahlung und Leitung sich bei ihrer Abnahme gleichartig verhielten. Daraus ergibt sich zwangslos, daß auch die Koeffizienten kleiner werden müssen.

Die Abnahme der Koeffizienten ist aber nicht gleichmäßig bei den drei angeführten Beispielen. Die Abnahme der Konstanten im Verlauf der Abkühlungszeit beträgt für den Zylinder blank poliert 90 n, bespannt mit Bembergseide 180 n, bespannt mit Bemberg-Indiana 170 n. (n ist hier wie auch in der Tabelle statt einer negativen Potenz von 10 gesetzt). Diese verschiedene Abnahme steht damit in Einklang, daß der blank polierte Zylinder eine geringe Strahlung hat, während der mit Stoffen umhüllte Zylinder vielmals mehr Wärme durch Strahlung verliert. Wie schon oben angeführt, verhalten sich diese Wärmeabgaben wie 1 : 7. Während der Abkühlung des Zylinders sinken beide um die Hälfte ab, relativ bleibt aber die an und für sich geringere Strahlung des unbekleideten Zylinders auf einem höheren Niveau stehen, infolgedessen nimmt auch die Konstante bei ihm weniger ab im Verlaufe des Abkühlungsprozesses als bei dem bekleideten Zylinder.

Aus neuerer Zeit liegen einige Beobachtungen vor, die beim Arbeiten mit dem Davoser Frigorimeter gewonnen wurden und durch die festgestellt wurde, daß die mit Stoffen überzogene Frigorimeterkugel mehr Heizstrom verbraucht, um eine konstante Innentemperatur aufrechtzuerhalten, als die nackte Kugel. A. Müller (22) benutzte zu seinen Versuchen einmal dünne Damenstrümpfe aus Kunstseide, die 0,3 bis 0,6 mm dick waren, andererseits

Herrensocken und einen Wollodenstoff von 0,8 bis 3,6 mm Dicke. Waren die dünnen Damenstrümpfe über die Frigorimeterkugel gezogen, so wurde mehr Heizstrom verbraucht, um die Kugel auf 33° zu halten, als wenn die Kugel unbespannt oder mit dem dicken Stoff überzogen war. Müller führt diese Beobachtung darauf zurück, daß „die Gewebsfaser eben so viel bessere Wärmeleiter als Luft sind, daß ihre Wirkung bei den dünnen Stoffen, bei welchen die Luft nicht eigentlich mehr zwischen den Stofffasern eingeschlossen, sondern nur zwischengelagert ist, die wärmehaltige Wirkung der Luft überkompensiert." Diese Erklärung dürfte aber kaum richtig sein. Von Vintschger (23), der auch mit dem Davoser Frigorimeter arbeitete, fand nämlich auch dann in der gleichen Zeit und unter sonst gleichen Bedingungen einen größeren Heizstromverbrauch, wenn dickere Stoffe von 0,8 – 0,9 mm Dicke, die nach den Angaben über das Porenvolumen wesentlich dichter gewebt waren als die gewirkten kunstseidenen Damenstrümpfe Müllers, um die Frigorimeterkugel gespannt waren. Bei dieser Dicke kann man wohl kaum nur von zwischengelagerter Luft sprechen. Für die Versuche von Vintschgers trifft auch ein zweiter Erklärungsversuch nicht zu, den Pels-Leusden (24) angibt auf Grund von Versuchen mit dem nackten oder mit Stoff überzogenen Katathermometer. Er fand nämlich, was vor ihm schon Bachmann (10) festgestellt hatte, daß auch das Katathermometer die paradoxe Erscheinung bot, mit Stoff bespannt viel schneller abzukühlen als ohne Umhüllung. Befreite er aber dann die Stoffe von einem Teil ihrer hygroskopischen Feuchtigkeit, so trat eine wärmesparende Wirkung in jedem Fall zu Tage. Er glaubte also, daß die Verdunstungswärme für das hygroskopisch gebundene Wasser der Grund für die ganze Erscheinung sei, auch soweit das Frigorimeter in Frage kommt. Wie schon erwähnt, trifft dieser Erklärungsversuch aber nicht für die von Vintschgerschen Versuche zu. Denn dessen Stoffe wurden während der ganzen Versuchsdauer in einem Trockenschrank bei 37° C aufbewahrt, sofern sie nicht gerade für einen Versuch auf die Kugel gespannt waren. Auf die Frage der Trockenheit oder Feuchtigkeit kommt es nicht an, denn A. Müller erhielt ohne Trocknung dasselbe Resultat wie von Vintschger mit seinem getrockneten Stoff.

Auch bei der Frigorimeterkugel dürfte die Strahlung der Faktor sein, der die Erscheinung bedingt. Die Frigorimeterkugel ist zwar geschwärzt, aber sie ist glatt. Einige orientierende Versuche ergaben ganz einwandfrei, daß die Strahlung der Frigo-

rimeterkugel durch Umhüllung mit dünnen Stoffen stark zunimmt.

Wie es sich mit dem Katathermometer verhält, läßt sich auf Grund der jetzigen Versuche nicht sagen. Das Katathermometer dürfte überhaupt ebenso wie das Frigorimeter kein geeignetes Instrument sein, um die Verhältnisse des Wärmeverlustes durch die Kleidung damit zu studieren.

Da sich bei diesen Versuchen mit dem Zylinder ein großer Einfluß der Strahlung kundtat, habe ich mich in der Folge nur mit der Frage der Wärmestrahlung der menschlichen Haut und der Gewebe befaßt, dabei gleichzeitig die Faktoren beachtet, die die Wärmestrahlung in ihrer Größe bedingen. Besonders interessant war es, wie sich die Haut einmal in bekleidetem, zum anderen im nackten Zustande in Bezug auf die Wärmestrahlung verhielt.

Zu messen war bei diesen Versuchen einerseits die Strahlung, andererseits die Oberflächentemperatur und die Umgebungstemperatur, da von diesen beiden Temperaturen die Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung, wenn auch nach verschiedenen Gesetzen, abhängig ist.

Die Umgebungstemperatur ließ sich einfach mit dem Quecksilberthermometer feststellen. Zur Messung der Oberflächentemperaturen sind die Quecksilberthermometer zu ungenau. Es wurde dafür ein Thermoelement aus Konstantan und Kupfer verwandt, ähnlich wie Kunkel (25), Rubner (26), Reichenbach und Heymann (27) es benutzt haben. Für die Genauigkeit der Methode spricht, daß Reichenbach und Heymann aus den gefundenen Werten eine Formel für ihre Person aufstellen konnten, nach der sich ihre Stirntemperatur bei den verschiedensten Lufttemperaturen berechnen ließ. Der durch die Temperaturdifferenz zwischen den beiden Lötstellen erzeugte Strom wurde mittels eines Saitengalvanometers gemessen. Geeicht wurde das Element auf die Weise, daß die bügelförmige Lötstelle genau so wie in den späteren Versuchen auf die Haut oder den Zylinder, auf eine Wasseroberfläche gesetzt wurde. Durch diese Methode glaubte ich der Wirklichkeit mehr entsprechende Werte zu finden, als wenn ich die Lötstelle vollständig in das Wasser eingetaucht hätte. In diesem Falle bedingt nämlich die Ableitung durch den Kupferdraht einen unkontrollierbaren Wärmeverlust. Das Wasser wurde erwärmt und dann abkühlen gelassen, wobei es dann gerührt wurde. Bei bestimmten Wassertemperaturen wurde dann der Ausschlag des Galvanometers gemessen. Es ergab sich hierbei in mehreren Versuchen eine sehr gute Übereinstimmung der ge-

fundenen Werte. Die mit dem Galvanometer erreichte Genauigkeit — ein Teilstrich das Galvanometers war 0,4° — war genügend, denn es ließen sich auf diese Weise $^1/_{10}{}^0$ noch sehr gut schätzen. Mit einem Spiegelgalvanometer, wie es bei den früheren Untersuchungen benutzt worden war, ließ sich zwar noch größere Genauigkeit erzielen, dafür war aber das Spiegelgalvanometer schwieriger zu handhaben und vor allem nicht transportabel.

Als Maß für die Wärmestrahlung wurde die Spannung benutzt, die entstand, wenn die Strahlen nur auf eine Lötstellenreihe einer Thermosäule fielen — die Thermosäule bestand aus 70 Antimon-Wismut-Elementen — die zweite Lötstellenreihe saß diametral gegenüber und war überdies noch durch eine Messingkapsel geschützt, so daß sie nicht von den Strahlen erwärmt werden konnte. Diese Spannung wurde mittels desselben Galvanometers gemessen, an das auch das Thermoelement zur Bestimmung der Hauttemperatur angeschlossen war.

Da sich herausstellte, daß sich unregelmäßige Thermoströme bildeten, wenn die Thermosäule frei im Zimmer aufgestellt wurde, wurde die Thermosäule in einem Kasten aus vernickeltem Messingblech eingeschlossen. Die Wand des Gehäuses war hohl, in ihr zirkulierte Wasser von bestimmter Temperatur. An der Vorderseite des Kastens befand sich eine Öffnung von 2,3 : 3 cm, die mittels eines Schiebers verschlossen werden konnte. 2,2 cm hinter dieser Öffnung, genau symmetrisch zu den Begrenzungsflächen dieser Öffnung befand sich die 2 cm^2 große strahlenauffangende Fläche der Thermoelemente. Der Innenraum des Schutzgehäuses war geschwärzt. Genau hinter der Thermosäule befand sich die Quecksilberkugel eines Thermometers, das durch ein Loch im Kasten in das Innere eingeführt worden war, so daß die Skala zum Ablesen sich draußen befand. Auf diese Weise konnte die Temperatur der Thermosäule stets festgestellt werden.

Als Versuchsgegenstand wurde ein Stück der Dorsalseite des Unterarms, einige Zentimeter unterhalb des Ellenbogengelenks, verwandt. Dieser Teil des Körpers wurde genommen, weil er sich leicht in eine bestimmte Lage bringen ließ, die auch wieder beim nächsten Versuch mit der nötigen Genauigkeit reproduziert werden konnte. Andererseits ließen sich auch leicht Stoffe um den Arm spannen, während andere Körperstellen fast keine Möglichkeit boten, die Gewebe zu befestigen.

Damit nun auch der Arm in gleicher Höhe mit der Thermosäule war — diese befand sich 20 cm über einer Tischplatte —

wurde er auf einen kleinen Tisch gelegt. Um nur von dem bestimmten Stück des Armes Wärmestrahlen auf die Thermosäule fallen zu lassen, wurde zwischen Tischchen und Thermosäule eine nach der Seite der Thermosäule hin auf Hochglanz polierte, vernickelte Messingplatte angebracht, die von der Thermosäule 4,8 cm entfernt war, vom Gehäuse für die Thermosäule 0,6 cm. Sie überragte, wenn man die Thermosäule als Mittelpunkt ansieht, diese nach allen Seiten um 20 cm. Hierdurch wurde erreicht, daß, wenn der Schieber des Gehäuses für die Thermosäule geöffnet war, nur Strahlen auf diese fallen konnten, die durch eine Öffnung von 4 : 4 cm in dieser Messingplatte hindurchfielen oder die von der Messingplatte selbst ausgingen. Die Begrenzungsflächen dieser Öffnung waren wieder symmetrisch zur Thermosäule angebracht. Hinter dieser Öffnung lag das strahlende Stück des Armes. Es war also dieselbe Wirkung, als ob ein 4 : 4 cm großes Stück des Armes sich in 4 8 cm Entfernung von der Thermosäule befunden hätte. Damit der Arm nicht die Messingplatte erwärmte, war sie nach der Seite des Armes zu mit einer 1,5 cm dicken Holzschicht bedeckt. Die Öffnung dieser Holzschicht war überall etwas größer als in der Messingplatte, so daß durch sie der Strahlengang nicht unterbrochen wurde. Wenn auch wirklich diese Messingplatte etwas wärmer war als die Thermosäule, so wurden trotzdem von ihr nicht nennenswert Wärmestrahlen abgegeben, da blankpolierte Flächen, wie ja aus den Zylinderversuchen hervorgeht, bei den hier in Betracht kommenden Temperaturdifferenzen praktisch nicht strahlen.

Die Versuche fanden im gleichen Raum wie die früheren Zylinderversuche statt. Da die Versuche im Sommer vorgenommen wurden, wurde nur morgens gearbeitet, da nachmittags durch die Sonne — das Zimmer hatte nach Westen ein Fenster — eine stärkere Temperaturerhöhung eintrat. Während der Versuchsdauer ließ sich die Temperatur des Zimmers nicht ganz konstant halten, da sich im Zimmer stets zwei Personen befanden, von denen die Versuchsperson in der Nähe des die Zimmertemperatur messenden Thermometers saß. Die Temperatur des Thermoelements, gemessen am Thermometer im Gehäuse, blieb aber konstant, da während der Versuche in der hohlen Wand des Kastens gleichtemperiertes Wasser zirkulierte.

Die gesamte Apparatur war auf einem Tisch aufgebaut. Die Versuchsperson saß auf einem Stuhl vor dem Tisch. Die Apparatur stand so, daß der rechte Arm bequem auf das Tischchen gelegt werden konnte. Daher war rechts von der Versuchsperson das

besagte Tischchen, die Messingplatte und das Gehäuse mit dem Thermoelement. Tischchen, Messingplatte und Gehäuse waren so aufgebaut, daß sie während aller Versuche zueinander dieselbe Lage behielten. 20 cm entfernt von dem aus dem Kasten herausragenden Thermometer befand sich das Thermometer zur Messung der Raumtemperatur. Links von der Versuchsperson hing an einer Aufhängevorrichtung die bügelförmig gestaltete Lötstelle des Thermoelements, das zur Messung der Hauttemperatur diente. Dieser Bügel konnte abgenommen werden, um auf die Hautstelle des rechten Arms gesetzt zu werden.

Von diesem Thermoelement wie auch von der Thermosäule liefen die stromführenden Drähte zum Saitengalvanometer, das sich in 2 m Entfernung vom Versuchstisch befand. Wechselweise konnten beide Elemente an das Galvanometer angeschlossen werden. Neben dem Galvanometer befand sich ein Kathetometer, durch das die Thermometer auf dem Versuchstisch beobachtet werden konnten.

Während des Versuchs saß die Versuchsperson ruhig auf ihrem Stuhl. Der rechte Arm lag auf dem vor ihr befindlichen großen Tisch. Mit der bügelförmigen Lötstelle wurde die Haut- oder Oberflächentemperatur gemessen. Die Lötstelle wurde immer mit möglichst gleichem Druck aufgesetzt. Bei allen Versuchen mit derselben Versuchsperson wurde stets dieselbe Stelle des strahlenden Unterarmbezirks zur Temperaturmessung genommen. Es hatte sich nämlich bei Vorversuchen ergeben, daß der Hautbezirk über die ganze Fläche hin dieselbe Temperatur hatte. Sowie diese Messung beendet war, wurde der Arm auf das Tischchen gelegt und der Schieber des Gehäuses vom Beobachtungsplatz hochgezogen, so daß die Strahlung des Arms jetzt auf die Thermosäule fiel. Die Einstellung des jetzt natürlich an die Thermosäule angeschlossenen Galvanometers auf einen festen Wert dauerte etwa 30 Sekunden. Während dieser Zeit wurde die Zimmer- und Thermoelementtemperatur von dem betreffenden Thermometer abgelesen. Die Gesamtdauer einer Beobachtung betrug etwa 45 Sekunden. In Zwischenräumen von 2 – 3 Minuten wurden 3 – 5 Beobachtungen gemacht, die Zahl richtete sich nach der mehr oder weniger großen Übereinstimmung der erhaltenen Ergebnisse.

Zu den Versuchen mit den Stoffen wurden diese straff, jedesmal mit möglichst gleicher Spannung um den Arm gelegt. Es wurde dann so lange gewartet, bis die Stoffe konstante Oberflächentemperatur angenommen hatten. Das war in 10—15 Minuten

der Fall. Umgekehrt wurde, wenn ein Arm vor den Versuchen bekleidet gewesen war, erst solange gewartet, bis er sich auf die Raumtemperatur eingestellt hatte.

Zunächst habe ich festzustellen versucht, wie sich die Strahlung der Haut eines Menschen an verschiedenen Tagen, bei verschiedenen

Tabelle 3.

t_0	t	W	k
Versuchsperson 1.			
17,5	29,25	16,1	1350 n
18,3	29,8	16,5	1470 n
18,75	29,95	16,4	1410 n
Versuchsperson 2.			
19.95	30,0	13,1	1265 n
20,4	31,0	14,2	1250 n
18,4	29,4	14,9	1285 n
18,5	29,5	15,1	1315 n
Versuchsperson 3.			
19,2	31,0	14,0	1120 n
20,5	30,8	11,6	1070 n
21,9	31,9	11,9	1110 n
Versuchsperson 4.			
19,8	30,1	12,8	1170 n
20,0	30,4	13,9	1240 n
20,5	30,9	13,1	1170 n
21,2	30,7	11,8	1160 n
Versuchsperson 5.			
20,1	31,5	14,9	1220 n
Versuchsperson 6.			
20,1	31,6	14,7	1190 n

Tab. 3. Strahlung der menschlichen Haut.
t_0 = Temperatur des Thermoelements.
t = Hauttemperatur.
W = Ausschlag des Galvanometers bei Strahlung.
k = Strahlungskonstante.

Temperaturen verhält. In Tab. 3 findet sich eine Zusammenstellung der bei Versuchen über die Hautstrahlung erhaltenen Zahlen. t_0 ist die Temperatur des Thermoelements, t ist die Temperatur der strahlenden Hautfläche, W der Ausschlag des Galvanometers, wenn durch die Strahlung des Arms auf die Thermosäule in dieser eine Spannung erzeugt wird. Da sich rein aus diesen drei Zahlen schlecht ein Vergleich durchführen läßt, habe ich nach der Formel: $W = k\ (T^4 - T_0^4)$, — T und T_0 bezeichnen die entsprechenden absoluten Zahlen zu t bezw. t_0, – die Konstante k berechnet. Die Konstante bedeutet aber nur eine Vergleichszahl, keine Eichungszahl für absolute Maße, sie bezieht sich nur auf W als Galvanometerausschlag, nicht als absolute Wärmemenge. In Tab. 3 erscheint die entsprechende Zahl unter k. Der Faktor n hinter diesen Zahlen ist statt einer negativen Potenz von 10 gesetzt. Dieser Faktor ist in allen folgenden Tabellen gleich groß; sein Zahlenwert ist 10^{-10}. Alle in Tab. 3 angegebenen Zahlen sind Mittelwerte aus 3 – 5 hintereinander erledigten Einzelbeobachtungen. Jede Reihe bedeutet einen Versuch. Die Versuche sind an verschiedenen Tagen gemacht worden. Die Zahlen für die Konstante an verschiedenen Tagen sind einander sehr ähnlich bei den Versuchen an ein- und demselben Arm. Die Strahlung des Arms ist also nur abhängig von seiner Oberflächentemperatur und der Temperatur des strahlenempfangenden Körpers. Es tritt aber in diesen Versuchen nicht hervor, daß der Arm durch einen rein physiologischen Vorgang seine Strahlungskonstante zu ändern vermag.

Vergleicht man die Konstante für die verschiedenen Personen miteinander, so ergeben sich deutliche Unterschiede. Der größte Wert der Konstante bei Versuchsperson 1 – 1470 n – verhält sich zu dem kleinsten bei Versuchsperson 3 – 1070 n – wie 1 : 0,75. Die Durchschnittshöhe der Konstanten beträgt bei

Versuchsperson 1 1410 n,
Versuchsperson 2 1280 n,
Versuchsperson 3 1100 n,
Versuchsperson 4 1185 n.

Hier ist der kleinste Wert etwa 80 % von dem größten. Worauf die Unterschiede beruhen, kann man nicht genau sagen. Versuchsperson 1 und 2 hatten im Gegensatz zu den übrigen Versuchspersonen eine stark pigmentierte Haut. Die Konstante ist bei ihnen besonders hoch. Ob sich hierin wirklich allein ein Einfluß der Pigmentation geltend macht, oder ob noch andere Einflüsse beteiligt sind, läßt sich nicht sicher entscheiden.

Um für die absolute Menge der Wärmestrahlung der Haut einen gewissen Anhaltspunkt zu haben, wurde die Thermosäule mittels der Hefnerlampe geeicht, deren Strahlung bekannt ist. Die Hefnerlampe stand dabei in 20,4 cm Entfernung. Da die Flamme mit ihrer Höhe von 4 cm schon verhältnismäßig groß ist im Verhältnis zur Entfernung von der Thermosäule, ist es fraglich, ob das Gesetz von der Abnahme der Strahlung mit dem Quadrat der Entfernung noch vollständig stimmt. Ich glaube aber, daß dieser Fehler nicht sehr ins Gewicht fällt. Durch die Eichung ergab sich, daß ein Skalenteil Ausschlag des Galvanometers in absolutem Maß $1{,}89.10^{-5}$ cal. cm^{-2}. $sec.^{-1}$ entsprach; diese Anzahl von Kalorien fällt also pro cm^2 und Sekunde in die Gegend der Thermosäule, wenn das Galvanometer 1 Teilstrich ausschlägt. Das 4 cm^2 große Stück Haut von Versuchsperson 1 strahlte aus 4,8 cm Entfernung soviel Wärme in die Ebene der Thermosäule, daß bei einer Hauttemperatur von $29{,}25^0$ C. und einer Temperatur der Thermosäule von $17{,}5^0$ ein Ausschlag von 16,1 Skalenteilen entstand, das entspricht $30{,}4.10^{-5}$ cal. cm^{-2}. sec^{-1}. Versuchsperson 3 strahlte $22{,}3.10^{-5}$ cal. cm^{-2}. sec^{-1}. auf die Thermosäule bei einer Hauttemperatur von $31{,}9^0$ und einer Temperatur der Thermosäule von $21{,}9^0$. Die Strahlung des Hautstückes von 4 cm^2 Größe und aus 4,8 cm Entfernung entspricht damit fast der Hälfte derjenigen, die die Hefnerlampe aus 20 cm Entfernung strahlt. Es sind dies nämlich $54{,}0.10^{-5}$. cal. cm^{-2}. sec^{-1}.

Genau in der eben geschilderten Weise wurden nun die Versuche mit dem bekleideten Arm vorgenommen. Der Arm derselben Versuchsperson wurde, gleich nach der Messung im nackten Zustande, mit Stoff umkleidet gemessen. Es wurden Gewebe aus allen bekannten Grundstoffen verwandt, aus Wolle, Baumwolle, Leinen, Seide und Kunstseide. Die Farbe der untersuchten Stoffe war möglichst weiß, oder wenigstens hellgelblich oder hellgrau.

Die Grundeigenschaften der Stoffe sind in Tabelle 4 zusammengestellt. Die Dicke der Gewebe wurde mittels eines Zeiß'schen Präzisionsdickenmessers gemessen. Für die Feststellung der Gewichte wurden ausgestanzte Scheiben des betreffenden Stoffes in vollkommen lufttrockenem Zustande gewogen. Zur Berechnung des Porenvolumens wurde das spez Gewicht der Grundstoffe angenommen für Wolle 1,3, Baumwolle 1,5, Leinen 1,46, Seide 1,3, Kunstseide 1,5. Für den Seidensamt, ein Mischgewebe von Seide und Baumwolle, und für Bemberg-

Indiana, ein Mischgewebe aus Baumwolle und Kunstseide, wurden als spez. Gewicht der Grundstoffe Mittelwerte angenommen.

Vom Standpunkte der Strahlung aus interessiert besonders die Oberflächenbeschaffenheit der benutzten Stoffe. Seide, Bembergseide, Leinen, Baumwolle und Bemberg-Indiana waren glatte Stoffe, gleichzeitig waren sie dünn, ihre Dicke schwankte von 0,15 mm der Bembergseide bis 0,41 mm des Leinens. Die Bembergseide zeigte auf ihrer Oberfläche überhaupt keine vorspringenden Gewebsfasern, während dies bei den anderen Stoffen dieser Kategorie der Fall war. Bemberg-Indiana und das Baumwollgewebe waren so locker gewebt, daß zwischen Kette und Schuß Lücken blieben, durch die die Unterlage evtl. hindurchstrahlen konnte. Eine zweite Reihe wurde von den Stoffen gebildet, die trikotartig gewebt waren. Es hörten dazu

Tabelle 4.

Stoffart	Dicke mm	Fläch. Gw. g. cm^{-2}	Spez. Cw. g. cm^{-3}	Por. Vol. %
Wolltrikot	0,65	0,02342	0,3603	72,3
Wollflanell	1,305	0,02250	0,1724	86,7
Baumwolle	0,36	0,00943	0,2619	82,5
Baumwolltrikot	0,74	0,02447	0,3307	78,0
Baumwollsamt	1,25	0,02873	0,2298	84,7
Seide	0,18	0,00664	0,3689	72,9
Seidensamt	1,08	0,01669	0,1548	89,3
Leinen	0,41	0,01841	0,4490	69,3
Porös. Hemdenstoff	0,64	0,01993	0,3114	78,6
Bembergseide	0,15	0,00784	0,5224	65,2
Milanese	0,29	0,01015	0,3499	76,7
Bemberg-Indiana	0,21	0,00658	0,3132	79,1

Tabelle 4. Dicke, Flächengewicht, Spez. Gewicht und Porenvolumen der untersuchten Stoffe.

Wolltrikot, Baumwolltrikot, ein poröser Stoff, wie man ihn zur Jackenherstellung benutzt, und ein Kunstseidengewebe, die Milanese. Dies letztere hob sich von den übrigen Trikotstoffen vollständig ab. Es war nur halb do dick wie diese, dabei außerordentlich glatt, Fäserchen standen auf der Oberfläche überhaupt nicht hervor. Es gehörte seiner Oberflächenbeschaffenheit nach zu den glatten Stoffen mit Lücken zwischen den Fäden. Die drei anderen Trikotstoffe schwankten in ihrer Dicke zwischen 0,65 und 0,75 mm.

Der poröse Hemdenstoff war so gewirkt, daß im Gewebe ziemlich große Lücken blieben. Ebenso wie beim glatten, waren auch bei diesem gewirkten Leinengewebe vorspringende Fäserchen ziemlich selten. Wolltrikot und Baumwolltrikot verhielten sich auf der normalen Außenseite fast gleich, außer daß der Wolltrikot feiner gewirkt war. Die andere Seite des Baumwolltrikots bot keine Besonderheiten gegenüber der eben geschilderten. Beim Wolltrikot sprangen auf dieser Seite im Vergleich zur normalen Außenseite sehr reichlich unregelmäßig einzelne Wollhaare über die Oberfläche vor. Noch weit übertroffen wurde sie aber, was Zahl der Härchen, unregelmäßige Anordnung und Länge der Härchen anlangt vom Wollflanell. Baumwollsamt und Seidensamt hatten zwei gänzlich verschiedene Seiten, Härchenseite und glatte Seite. Die glatte Seite entsprach in ihrer Oberflächenbeschaffenheit der der glatten dünnen Stoffe. Die Härchen standen beim Baumwollsamt viel dichter als beim Seidensamt. Beim Seidensamt konnte man sehr gut das Grundgewebe hindurchsehen. Dies bestand beim Seidensamt aus Baumwolle, nur die Härchen waren Seide.

Mit diesen verschiedenen Stoffen wurden in der schon beschriebenen Weise die Versuche vorgenommen. Bei den Stoffen, die auf beiden Seiten verschieden gewebt oder gewirkt waren, wurden auch beide Seiten auf ihr Verhalten geprüft. Die Resultate der Versuche sind zahlenmäßig in Tabelle 5 zusammengestellt. Mit 3 Versuchspersonen konnten ausgedehntere Versuche angestellt werden. Die Nummerierung der Versuchspersonen entspricht der in Tabelle 3. Es sind jedesmal bei einer Person die Versuche zusammengefaßt, die an einem Tage hintereinander erledigt worden sind. t ist wiederum die Oberflächentemperatur, W der Ausschlag des Galvanometers. Die angegebenen Zahlen sind Mittelwerte, die aus 3-5 Beobachtungen berechnet wurden.

Vergleicht man die durch Wärmestrahlen an die Thermosäule abgegebene Wärmemenge einerseits des nackten Armes, andererseits des um den Arm gespannten Stoffes, so ergibt sich, daß bei ein- und derselben Versuchsperson die Strahlung des nackten Armes in keinem Falle von der des mit irgendeinem der von mir verwandten Stoffe bekleideten Armes erreicht wird. Hieraus kann man aber nicht den Schluß ziehen, daß die Stoffe etwa schlechtere Wärmestrahler seien als die Haut. Die in unseren Versuchen aufgefundenen Werte für die Strahlung ergeben sich aus zwei Komponenten, nämlich 1. der Strahlungskonstante und 2. der Oberflächentemperatur, die ihrerseits wieder

von der Dicke und dem spezifischen Wärmeleitungsvermögen des Stoffes abhängig ist. Bei Versuchsperson 1 strahlt bei derselben Temperatur der Thermosäule die Haut so, daß die Saite des Galvanometers 16,4 Skalenteile ausschlägt, der Wollflanell

Tabelle 5.

Versuchsperson 1.

Stoffart	t	W
Temp. d. Therm.:	17,5-17,6°	
Haut	29,25	16,1
Bembergseide	26,65	14,5
Bemberg-Indiana	25,2	13,3
Temp. d. Therm.:	18,3-18,35°	
Haut	29,8	16,5
Seide	26,9	13,8
Seidensamt I.	25,0	12,4
Seidensamt II.	24,7	10,8
Milanese I.	25,8	13,1
Temp d. Therm.:	18,75-18,85°	
Haut	29,9	16,4
Wollflanell	23,85	10,0
Baumwollsamt I.	24,7	11,3
Baumwollsamt II.	25,0	10,4
Tem. d. Therm.:	19,5-19,6°	
Haut	30,55	14,2
Baumwolltrikot I.	26,1	11,5
Baumwolltrikot II.	25,9	11,3

Versuchsperson 2.

Stoffart	t	W
Temp. d. Therm.:	18,4-18,55°	
Haut	29,4	14,9
Bembergseide	27,3	14,0
Seide	26,6	12,7
Seidensamt I.	25,8	13,1
Temp. d. Therm.:	20,4-20,5°	
Haut	31,0	14,0
Bemberg-Indiana	29,4	12,2

Versuchsperson 3.

Temp. d. Therm.:	19,2-19,4°	
Haut	31,0	14,0
Seidensamt I.	27,5	12,2
Seidensamt II.	25,9	11,3
Temp. d. Therm.:	21,9-22,1°	
Haut	31,9	11,8
Leinen	29,2	10,7
Milanese I.	29,1	10,6
Milanese II.	29,0	10,1
Baumwolle	28,9	9,9
Bemberg-Indiana	28,75	9,6
Temp. d. Therm.:	20,5-20,6°	
Haut	30,8	11,6
Baumwolltrikot I.	28,4	10,8
Baumwolltrikot II.	28,05	10,5
Poröser Stoff	27,4	10,6
Seide	28,45	11,3

Tab. 5. Oberflächentemperatur und Strahlung von Haut und Stoffen.

t = Oberflächentemp. in °C.

W = Galvanometerausschlag, wenn die Strahlung auf die Thermosäule fällt.

I. hinter einem Stoff bedeutet, die normale Außenseite ist nach außen gekehrt, II. die andere Seite strahlt.

bringt es aber unter den gleichen Bedingungen nur auf einen Ausschlag von 10,0 Skalenteilen. In diesem Fall betrug die Oberflächentemperatur der nackten Haut 29,9°, die des um den Arm gespannten Wollflanells 23,85°. Die Haut strahlt also mehr, aber ihre Oberflächentemperatur ist auch bedeutend höher als die des Wollflanells.

Ich habe versucht, auch für die um den Arm gespannten Stoffe die Strahlungskonstante zu berechnen. Es war nicht zu erwarten, daß diese Konstanten genau so regelmäßig sein würden, wie die für die Hautstrahlung berechneten. Die Gründe hierfür waren mir von vornherein klar. Ein- und dieselbe Versuchsperson konnte nicht bei verschiedenen Stoffen das Thermoelement mit dem gleichen Druck aufsetzen, da die Übertragung des Drucks wegen der verschiedenen Oberflächenbeschaffenheit der Stoffe jedesmal in anderer Weise auf die Nervenendigungen erfolgte.

Weiterhin waren die Oberflächenreliefs der Arme verschiedener Personen zu ungleich, als daß ein Stoff bei jeder Person in gleicher Weise angelegt werden konnte. Bei ein und derselben Person machte sich das Oberflächenrelief in der Richtung bemerkbar, daß bei verschiedenen Stoffen zwischen Haut und Stoff je nach der Anschmiegungsfähigkeit des Stoffes kleine Hohlräume blieben, die Oberflächentemperatur und Strahlung in unkontrollierbarer Weise beeinflußten. Wegen des wechselvollen Muskelspiels ließ sich trotz aller Sorgfalt nicht erzielen, daß die Spannung der Stoffe jedesmal gleich war.

So ist es erklärlich, daß die regelmäßigsten Angaben bei den verschiedenen Personen bei den dünnen glatten Stoffen erhalten wurden. Diese habe ich daher zum Vergleich der Konstante zwischen Haut und Stoff besonders herangezogen. Die absolute Höhe der Konstanten betrug bei Versuchspersonen 1 für die Haut im Maximum 1470 n, für den mit Stoff bekleideten Arm im Minimum 1545 n. Bei Versuchspersonen 3 ergaben sich die entsprechenden Zahlen zu 1120 n bzw. 1305 n. Man ersieht hieraus, daß bei ein und derselben Person die Haut ein schlechterer Strahler ist als die um den Arm gespannten Stoffe. Wie schon bei Besprechung der Hautstrahlung hervorgehoben, ist es nicht angängig, die bei einer Person gefundenen Werte für die Konstante auf eine andere zu übertragen. Berechnet man daher das Verhältnis der Konstanten für Haut einerseits, für Bemberg-Indiana andererseits, so ist dieses Verhältnis bei Versuchsperson 1 wie 100 : 118, bei Versuchsperson 3 wie 100 : 122. Für das Verhältnis Haut zu weißer Seide ergab sich bei Versuchsperson 1

100 : 107, bei Versuchsperson 2 100 : 117, bei Versuchsperson 3 100 : 127. Im Mittel also auch hier wieder wie bei der Bemberg-Indiana etwa das Verhältnis 100 : 120. Mit anderen Worten, die glatten Stoffe strahlen etwa um 1/5 besser als die Haut. Wenn also in Tab. 5 der Wert für die durch Strahlung abgegebene Wärmemenge für die nackte Haut stets größer ist als für die bekleidete, liegt es allein an dem anderen Faktor, der Oberflächentemperatur.

Was den Vergleich zwischen Strahlung und Oberflächentemperatur anlangt in bezug auf die verschiedenen Stoffe, will ich nur kurz auf die aus Tab. 5 sich ergebenden Schlüsse hinweisen, da ich mich hierfür wegen der schon geschilderten Mängel einer anderen Methode bedient habe. Die dünnen glatten Stoffe strahlen mehr Wärme aus als die dicken rauhen, wenn man die Versuchsreihen betrachtet, in denen diese beiden Arten Stoffe zusammen untersucht wurden. So war durch die Strahlung des Baumwolltrikots am Galvanometer ein Ausschlag von 10,5 Skalenteilen hervorgerufen worden, während in derselben Versuchsreihe die Seide es auf 11,3 Skalenteile brachte. In einer zweiten Versuchsreihe strahlte die Seide so, daß 13,8 Skalenteile abgelesen wurden. Sofort danach ergab der Seidensamt ein Abweichen der Saite bis auf 12,4. Aber wie auch im Verhältnis von Haut zu Stoff wird ebenso hier wieder der angeführte Wert für die Strahlung neben der Strahlungskonstante für den betreffenden Stoff von der Oberflächentemperatur weitgehend beeinflußt. Im letztangeführten Beispiel war unter den gleichen Bedingungen die Oberflächentemperatur der Seide 26,9°, während der Seidensamt nur eine solche von 25° C. hatte. Der dicke Seidensamt wirkte also in stärkerem Maße wärmeisolierend wie der dünne Seidenstoff. Eine etwaige größere Strahlungskonstante war aber durch die wärmeisolierende Wirkung weitgehend überkompensiert worden.

Wie schon angeführt, habe ich mich zur Darlegung des Verhältnisses der Strahlungskonstanten der verschiedenen Stoffe zueinander einer anderen Methode bedient. Es war ja nicht notwendig, um die Oberflächentemperatur der Stoffe über die Umgebungstemperatur zn erhöhen, den Menschen als Heizquelle zu benutzen. Wenn man dieses vermied, konnte man auch die geschilderten Mängel weitgehend beseitigen. Um die Stoffoberfläche über Umgebungstemperatur zu bringen, wurde der schon zu den Anfangsversuchen gebrauchte Zylinder benutzt. Dabei konnte aber der nackte Zylinder nicht als Aequivalent für den unbekleideten Arm benutzt werden, da er ja im Verhältnis zu dem mit Stoffen

bespannten überhaupt kaum strahlte. So lieferte der unbekleidete Zylinder bei der zu den folgenden Versuchen benutzten Anordnung durch Strahlung auf die Thermosäule einen Galvanometerausschlag von 2 Teilstrichen; wurde der Zylinder mit weißer Leinwand überzogen, so ergab sich unter sonst gleichen Bedingungen nunmehr ein Ausschlag von 21 Teilstrichen. Es konnte also mit dem Zylinder nur das gegenseitige Verhältnis der Wärmestrahlung der Stoffe festgestellt werden.

Physiologische Vorgänge, wie sie die Temperatur der Haut ändern, sobald sie bekleidet wird, wobei diese Temperaturänderung nicht bei allen Stoffen gleich ist, und die dann auch nicht einmal bloß von den Stoffen, sondern von klimatischen und körperlichen Faktoren mit abhängt, fallen bei dem Zylinder fort. Wenn der Zylinder auf konstanter Temperatur gehalten wird, so ist auch die Temperatur unter der Stoffschicht bei allen Geweben die gleiche, und zwar gleich der Zylinderinnentemperatur, da in der dünnen Kupferschicht kein merkliches Temperaturgefälle besteht.

Es wurde wieder gleichzeitig Oberflächentemperatur, Temperatur des Thermoelements, Raumtemperatur und die Wärmestrahlung gemessen. Die Oberflächentemperatur wurde wieder mit demselben Thermoelement festgestellt, das auch schon zur Messung der Hauttemperatur diente. Auch hier war die Gefahr groß, daß durch ungleich festes Andrücken die Werte für die Oberflächentemperatur differierten von einem zum andern Versuch. Es wurde versucht, diesen Fehler dadurch zu eliminieren oder für alle Versuche gleichzumachen, daß stets die gleiche Person die bügelförmige Lötstelle gegen die Stoffe setzte, so daß der Druck stets möglichst der gleiche war. Die ungleiche Oberflächenbeschaffenheit der Stoffe ließ sich aber dadurch auch nicht beseitigen.

Andererseits wurden auch nach Möglichkeit die Stoffe mit derselben Spannung um den Zylinder genäht. Auch hier wurde dies dadurch zu erreichen versucht, daß immer die gleiche Person das Annähen besorgte.

Das wechselnde Relief, wie es die verschiedenen Arme boten, fiel fort. Wechselnde Zwischenräume zwischen Zylinderoberfläche und Stoff entstanden auf diese Weise nicht.

Durch diese Maßregeln durfte man hoffen, daß die Messung der Oberflächentemperatur ziemlich genau wurde Bei Versuchen mit dem unbekleideten Zylinder ergab sich, daß die mit dem Thermoelement gemessenen Oberflächentemperaturen der Innentemperatur sehr genau entsprachen, wie es zu erwarten war.

Die Wärmestrahlung wurde wieder genau so gemessen wie

bei den früheren Versuchen. Die Entfernung des Zylinders von der Thermosäule betrug 4,2 cm, von der Öffnung im Gehäuse, deren Umrandung als Blende wirkte, betrug die Entfernung 2 cm. Im übrigen war der Zylinder symmetrisch zur Thermosäule aufgebaut. Dieselbe Stellung wurde bei allen Versuchen auf das Genaueste eingehalten. Die Blende, also die Öffnung im Gehäuse, in dem die Thermosäule sich befand, wurde vom Zylinder nicht vollständig ausgefüllt. Auf die seitlichen Partien der Thermosäule konnten an dem Zylinder vorbei noch einige Wärmestrahlen von der Wand des Zimmers gelangen. Versuche, die unternommen wurden, wenn der Zylinder fort war und der Schieber offen war, so daß die Nordwand des Zimmers auf die Thermosäule strahlte, ergaben aber, daß kein Ausschlag des Galvanometers erfolgte. Außer dem Zylinder gab es also nichts im Zimmer, das Wärmestrahlen auf die Thermosäule warf.

Prinzipiell ist die Anordnung im großen und ganzen dieselbe wie bei den Versuchen mit der Strahlung der Haut. An Stelle des Arms ist der Zylinder getreten. Die blankpolierte Messingplatte ist fortgefallen. Das Thermoelement für die Temperaturmessung wurde nicht jedesmal für eine Einzelbeobachtung wieder an den Zylinder gesetzt, sondern es wurde vor dem Anheizen aufgesetzt und blieb während des ganzen Versuchs unverrückt in dieser Stellung. Die Ablesungen wurden wieder aus 2 m Entfernung vorgenommen.

Vor Beginn eines Versuches wurde der Zylinder mit dem Stoff bespannt, an seinen Platz gestellt, das Thermoelement aufgesetzt. Dann wurde angeheizt. War der Zylinder bis auf 38° erwärmt, wurde der Strom noch 10 - 15 Minuten laufen gelassen. Nach dieser Zeit wurden einige Beobachtungen bei noch angestelltem Strom, also bei gleichbleibender Innentemperatur von 38° C. vorgenommen. Die Einzelbeobachtung ging genau so vor sich, wie bei den Hautversuchen, nur wurde als letztes die Oberflächentemperatur gemessen. Waren genügend Beobachtungen vorgenommen, was sich nach der Übereinstimmung der Zahlen richtete, so wurde vom Ablesungsplatz aus die Heizung ausgeschaltet. Während der nunmehr erfolgenden Abkühlung des Zylinders wurden wieder verschiedene Male Strahlung und Oberflächentemperatur beobachtet.

Einige Beobachtungen sind in Tab. 6 zusammengestellt. Es sind Einzelbeobachtungen, die aus einer größeren Reihe von Beobachtungen ausgewählt sind. Sie sind daraufhin ausgesucht, daß die Werte für die Strahlung (in der Tabelle unter W) bei

den einzelnen Stoffen nicht allzu sehr differieren. t_0 ist die Temperatur der Thermosäule, t die Oberflächentemperatur des Stoffes, der gerade um den Zylinder gespannt ist. Während

Tabelle 6.

Stoffart	t_0	t	$t-t_0$	W
Wolltrikot I	19,65	28,75	9,1	18,4
Wolltrikot II	19,8	28,5	8,7	18,2
Wollflanell	20,4	26,75	6,35	17,8
Baumwolle	20,1	30,6	10,5	17,4
Baumwolltrikot I	18,85	28,1	9,25	17,6
Baumwolltrik. II	18,45	28,65	10,2	17,9
Baumwollsamt I	19,4	28,15	8,75	18,0
Baumwollsamt II	18,85	29,0	10,15	18,0
Seide	19,4	29,25	9,85	16,8
Seidensamt I	20,4	28,25	7,85	16,4
Seidensamt II	20,6	29,65	9,05	19,0
Leinen	19,9	30,4	10,5	17,1
Porös. Hemdenst.	19,0	28,75	9,75	17,7
Bembergseide	20,5	30,55	10,05	16,8
Bemberg-Indiana	18,4	29,4	11,0	17,7
Milanese	20,05	30,45	10,4	17,9

Tab. 6. Die Strahlung der um den Zylinder gespannten Stoffe im Verhältnis zu Oberflächen- und Temperatur des Thermoelements.

t_0 = Temperatur der Thermosäule,

t = Oberflächentemperatur, der um den Zyl. gespannten Stoffe,

$t-t_0$ = Differenz der beiden Temperaturen,

W = Ausschlag des Galvanometers bei Strahlung der Stoffe auf die Thermosäule.

I hinter einem Stoff heißt, es strahlt die normale Außenseite, II, die gegenüberliegende Seite strahlt.

die Werte für die Strahlung im Maximum um 10% – wenn der Seidensamt nicht beachtet wird – schwanken, differieren die Werte für die Temperaturdifferenz zwischen der Temperatur der Thermosäule und der Oberfläche (in Tab. 6 unter $(t-t_0)$) um 40%. Die größte Temperaturdifferenz, mit anderen Worten die geringste temperaturherabsetzende Wirkung, besitzen die dünnen

glatten Stoffe. Trotzdem ist aber ihre Strahlung nicht größer als die der dicken rauhen Stoffe, die nur eine geringe Temperaturdifferenz aufweisen. Der Wollflanell gibt bei einer Temperaturdifferenz von 6,35° eine Strahlung von 17,8 Teilstrichen, Bemberg-Indiana eine solche von 17,7, wobei aber Oberflächentemperatur und Temperatur der Thermosäule um 11° verschieden sind. Interessant ist das Verhalten der beiden Samtstoffe. Beide Seiten des Baumwollsamts geben dieselbe Strahlung, aber die besagte Temperaturdifferenz ist viel geringer, wenn die Härchenseite außen ist, die Härchenseite strahlt also besser. Beim Seidensamt ist die Strahlung der glatten Seite viel größer, aber das Temperaturintervall ist auch zugunsten der glatten Seite verschoben; wie sich also die Strahlung der beiden Seiten verhält, läßt sich aus diesen Daten nicht entnehmen.

Die eigentlichen Unterschiede kommen aber erst zum Vorschein, wenn die relativen Konstanten für die einzelnen Stoffe nach der Strahlungsformel berechnet werden. Die Tab. 7 enthält die auf diese Weise gewonnenen Werte. Es sind Mittelzahlen, die aus einer großen Zahl von Einzelbeobachtungen zusammengestellt sind.

Das Kunstseidengewebe, die Bembergseide, strahlt am wenigsten. Die anderen dünnen und glatten Stoffe, wie Bemberg-Indiana, Milanese, Leinen, Seide und Baumwolle strahlen fast ebenso schlecht. Worauf es beruht, daß die Seide ein besserer Strahler ist als der dünne Baumwollstoff läßt sich nicht erkennen. Wenn man nach der erkennbaren Oberflächenbeschaffenheit gehen sollte, müßte es eigentlich umgekehrt sein. Vielleicht spielen mikroskopisch kleine Unregelmäßigkeiten dabei eine Rolle. Weitaus am besten von allen Stoffen strahlt der Wollflanell, ein Ergebnis, das zu erwarten war. Die verschiedenen Trikotgewebe bieten ein buntes Bild. Der Wolltrikot strahlt am besten, wobei bemerkenswert ist, daß die normale Außenseite ein etwas schlechteres Strahlungsvermögen hat wie die Gegenseite. Die Außenseite hat auch wirklich nicht so viele vorspringende Härchen wie die andere Seite. Umgekehrt verhält sich der Baumwolltrikot, denn bei ihm strahlt die Seite, die gewöhnlich auf dem Körper getragen wird, schlechter als die Außenseite. Aus der Oberflächenbeschaffenheit läßt sich dieses nicht erklären. Der poröse Hemdenstoff und die Milanese bieten ja, wie schon hervorgehoben, insofern Besonderheiten, als sie ziemlich große Lücken enthalten, durch die die Unterlage hindurchstrahlt. Da in diesem Falle die Unterlage kaum strahlt, wirkt das so, als ob die

Tabelle 7.

Stoffart	k
Wolltrikot I	1930 n
Wolltrikot II	2000 n
Wollflanell	2595 n
Baumwolle	1580 n
Baumwolltrikot I	1845 n
Baumwolltrikot II	1690 n
Baumwollsamt I	1970 n
Baumwollsamt II	1665 n
Seide	1620 n
Seidensamt I	2010 n
Seidensamt II	2000 n
Porös. Hemdenstoff	1750 n
Leinen	1555 n
Bembergseide	1530 n
Milanese	1610 n
Bemberg-Indiana	1550 n

Tab. 7. Die relativen Strahlungskontanten der untersuchten Stoffe.

I hinter einer Stoffart bedeutet, die normale Außenseite strahlt, II, die andere Seite strahlt.

strahlende Fläche verkleinert würde. Auf einer anderen Unterlage, als es der blankpolierte Zylinder ist, würden sie wahrscheinlich eine größere Strahlungskonstante ergeben. Der poröse Hemdenstoff strahlt noch immer ziemlich, was nach seiner Oberflächenbeschaffenheit auch der Fall sein muß. Die Milanese verhält sich aber gänzlich anders. Sie ist vollständig den dünnen glatten Stoffen zuzuzählen. Das Verhalten der Samtgewebe ist eigentümlich. Die Härchenseite des Baumwollensamts ist 20% in ihrer Strahlung stärker als die glatte Seite, wie es auch schon aus den Ergebnissen der Tab. 6 hervorgeht, während beim Seidensamt beide Seiten gleich strahlen. Diese Tatsache ist außerordentlich merkwürdig. Vielleicht spielt es hierbei eine Rolle, daß die glatte Seite aus Baumwollgewebe besteht, und nur die Härchen Seide sind. Zeichen, die auf einen Einfluß der Grundstoffe hinweisen, lassen sich nicht auffinden, da die Unterschiede in der Oberflächenbeschaffenheit auch zwischen den Geweben gleicher Webart zu groß sind.

Bis jetzt liegen vergleichende Messungen über die Strahlung nur von Rubner (14) vor. Bei Rubner tritt der Wollflanell nicht so auffällig als bester Strahler hervor. Bei den angegebenen Resultaten beträgt der größte Unterschied im Verhältnis von Flanell zu einem glänzenden Seidenstoff etwa 30%, in meiner Tabelle 8 beträgt der Unterschied im Maximum etwa 70% zwischen einem glänzenden Kunstseidenstoff und einem Wollflanell. Rubner fand, daß die von ihm geprüften Baumwolltrikots genau so gut strahlten wie der Wollflanell, bei meinen Versuchen ergab sich ein großer Unterschied zugunsten des letzteren. Die Rubnerschen Zahlen können aber auch nicht ohne weiteres mit den in meinen Versuchen erzielten Ergebnissen verglichen werden. Rubner hat nämlich nicht die Oberflächentemperatur berücksichtigt. Er bemühte sich zwar dadurch, daß er stets zwei Stoffe gleichzeitig auf den Leslieschen Würfel spannte, von dem bald die Oberfläche des einen, dann nach Vertauschung die des anderen ihre Strahlung auf die Thermosäule warf, die Oberflächentemperatur der ausstrahlenden Flächen gleichzumachen. Das ist aber nicht möglich, denn, wie sich durch eine einfache Rechnung zeigen läßt, hat die Oberfläche des stärker strahlenden Stoffes stets eine geringere Temperatur wie die des schlechter strahlenden. Im Vergleich sind dann natürlich die Werte für den gutstrahlenden Stoff zu niedrig im Verhältnis zu dem in geringerem Grade durch Strahlung Wärme verlierenden Stoff.

Die tatsächlich durch Strahlung von der Oberfläche abgegebene Wärmemenge hängt auch noch neben der eben mitgeteilten Strahlungskonstante, von der Wärmeleitfähigkeit ab, wie immer wieder hervorgehoben ist. Aus den bisher mitgeteilten Daten läßt sich nicht deutlich erkennen, wie das Zusammenspiel dieser beiden Komponenten sich auswirkt, da sowohl Zimmertemperatur als auch die Temperatur der Stoffunterlage schwanken. Ich habe daher sämtliche Beobachtungen, bei denen die Zylinderinnentemperatur 38° C betrug, auf eine Zimmertemperatur von 20° umgerechnet, d. h. ich habe durch Rechnung bestimmt, wie hoch die Oberflächentemperatur des um den Zylinder gespannten Stoffes gewesen wäre, wenn die Versuche bei 20° Zimmertemperatur vorgenommen worden wären. In Wirklichkeit schwankte die Zimmertemperatur von 18,4° bis 21,05° C.

Zu diesem Zweck habe ich mich derselben Formel bedient, auf Grund derer Reichenbach und Heymann (27) einen Ausdruck für die Abhängigkeit ihrer Stirntemperatur von der Raumtemperatur ableiteten, denn diese Formel stellt eine Beziehung zwischen

Oberflächen-, Innen- und Umgebungstemperatur eines Körpers her. Die Formel lautet:

$$c_1 \frac{(t_i - t)}{d} = c_2 (t - t_0)$$

Sie besagt, daß ein Körper von der Oberflächentemperatur t, bei einer Temperatur des umgebenden Raumes t_0 nur soviel Wärme an die Umgebung abgeben kann, wie durch die Schicht d desselben Körpers hindurchgeht, wenn an der Oberfläche die Temperatur t herrscht, während in einer Tiefe d davon die Temperatur t_i vorliegt. c_1 und c_2 sind Konstanten. Strenggenommen gilt diese Gleichung, die eine Form des Newtonschen Abkühlungsgesetzes ist, nur dann wenn die Gesamtwärmeabgabe proportional der einfachen Temperaturdifferenz ist. Falls Strahlung mit im Spiele ist, die ja proportional ist der Differenz der 4. Potenzen der absoluten Temperaturen, gilt die Formel nicht; für kleine Temperaturdifferenzen ist aber der entstehende Fehler zu vernachlässigen. Da es sich bei meinen Berechnungen auch nur um Differenzen von höchstens $1{,}6^0$ handelt, ist die erreichte Genauigkeit vollständig ausreichend. Durch Auflösung dieser Gleichung nach t erhielt ich einen Ausdruck, durch den es möglich war, die Oberflächentemperatur t des um den Zylinder gespannten Stoffes für eine angenommene Temperatur der Umgebung — t_0 — zu berechnen, wenn die Innentemperatur des Zylinders — t_i — als konstant angenommen wurde, und wenn t' die bei der Umgebungstemperatur t'_0 beobachtete Oberflächentemperatur war. Die Formel lautet:

$$t = \frac{(t_i - t')(t_0 - t'_0)}{t_i - t'_0} + t'$$

In Tab. 8 erscheinen die auf diese Weise berechneten Werte für die Oberflächentemperatur unter t. Die Spalte $(t_i - t)$ gibt die Differenz zwischen Innentemperatur und Oberflächentemperatur an. Gleichzeitig ist in der Tabelle unter W angegeben, wieviel Teilstriche das Galvanometer ausschlagen würde, wenn die Strahlung des Stoffes bei der entsprechenden Oberflächentemperatur auf die Thermosäule fallen würde, wenn dieselbe ebenso wie der umgebende Raum eine Temperatur von 20^0 C hätte. Die Werte wurden mit Hilfe der in Tab. 7 angegebenen relativen Konstanten nach der Strahlungsformel berechnet.

Ganz auffallend ist in dieser Tabelle, wie gering die Unterschiede inbezug auf die Wärmemenge, die durch Strahlung ab-

gegeben wird, geworden sind, wenn man die ziemlich erheblichen Unterschiede der relativen Strahlungskonstanten damit in Vergleich setzt. Der innere Grund dafür ist der, daß gerade die starkstrahlenden Stoffe dicker sind und ein schlechteres Wärmeleitungsvermögen besitzen, als die schwachstrahlenden dünnen, die ein besseres Wärmeleitungsvermögen haben. Die beiden Faktoren wirken gegeneinander und kompensieren sich deshalb teilweise. Bei den Strahlungskonstanten war das Verhältnis des

Tabelle 8.

Stoffart	t	$t_i - t$	W
Wolltrikot I	29,55	8,45	19,5
Wolltrikot II	29,45	8,55	20,0
Wollflanell	26,5	11,5	17,7
Baumwolle	31,85	6,15	20,1
Baumwolltrikot I	29,7	8,3	18,9
Baumwolltrikot II	30,55	7,45	19,0
Baumwollsamt I	30,25	7,75	21,4
Baumwollsamt II	30,55	7,45	18,7
Seide	31,7	6,3	20,2
Seidensamt I	29,4	8,6	20,0
Seidensamt II	29,2	8,8	19,4
Leinen	32,05	5,95	20,1
Porös. Hemdenst.	29,55	8,45	17,8
Bembergseide	32,3	5,7	20,1
Bemberg-Indiana	32,2	5,8	20,7
Milanese	31,95	6,05	20,6

Tabelle 8. Wirkliche Strahlung und Oberflächentemperatur der um den Zylinder gespannten Stoffe bei einer Außentemperatur von 20° und einer Zylinderinnentemperatur von 38° C.

niedrigsten zum höchsten Wert wie 60 : 100, bei den Werten für Strahlung in Tab. 8 ist dieses Verhältnis nunmehr nur noch 80 : 100. Man könnte ja nun glauben, daß eben nur die Unterschiede vermindert wären, sonst aber die Reihenfolge für die Strahlung noch ebenso wäre. Aber auch das ist nicht zutreffend. Denn der Wollflanell gibt gerade am wenigsten Wärme durch Strahlung ab. Er bringt es nur auf einen Ausschlag von 17,7 Skalenteilen. Der schlechteste Strahler nach der Konstante ist die Bembergseide. Sie wirft aber unter diesen Verhältnissen

soviel Wärmestrahlen auf die Thermosäule, daß das Galvanometer 20,1 Skalenteile von der Nullstellung abweicht. An diesem extremen Beispiel zeigt sich recht deutlich der überragende Einfluß der Oberflächentemperatur der Stoffe auf die durch Strahlung von der Oberfläche abgegebene Wärmemenge. Daneben verschwindet, jedenfalls für dies Beispiel, das spez. Strahlungsvermögen vollständig. Der Wollflanell setzt nämlich die Temperatur der Stoffoberfläche gegenüber der daruntergelegenen Zylinderoberfläche um 11,5° herunter, während die Bembergseide dies nur um 5,8° tut. Von den nach der Strahlungskonstante gutstrahlenden Stoffen überragt nur die rauhe Seite des Baumwollsamtes mit 21,4 Teilstrichen Galvanometerausschlag die Höhe der Strahlung der glatten dünnen Stoffe, die es im Durchschnitt auf 20,3 Teilstriche bringen. Die von uns verwandten dünnen glatten Stoffe geben sowohl durch Strahlung wie auch durch Leitung die meiste Wärme an die Umgebung ab. Die sonst noch geprüften Trikots und Samtgewebe verlieren durch Strahlung fast ebensoviel Wärme wie die dünnen glatten Stoffe. Auch bei ihnen überwiegt wie beim Wollflanell in dem Einfluß auf die Wärmeabgabe durch Strahlung ihr geringes Leitungsvermögen. Man kann also sagen, daß die Wärmeleitung und die dadurch bedingte Oberflächentemperatur größeren Einfluß auf die Wärmeabgabe durch Strahlung hat, als die Strahlungskonstante der einzelnen Stoffe.

Zusammenfassend kann man über die Untersuchung folgendes sagen — wo von Stoffen die Rede ist, gelten die Schlußfolgerungen nur für die von mir untersuchten weißen Stoffe:

Die außerodentlich starke Strahlung der Gewebe, die zur Kleidung verwandt werden, im Verhältnis zu einer blankpolierten Metallfläche, ist der Grund, daß ein über Umgebungstemperatur erhitzter blanker Metallzylinder, wenn er mit Stoffen bekleidet ist, sich schneller abkühlt, als ohne jede Umhüllung.

Eben derselbe Grund bewirkt sehr wahrscheinlich auch, daß ein mit Stoffen umhülltes Davoser Frigorimeter, wie in den Versuchen von A. Müller und von v. Vintschger hervortrat, mehr Strom verbraucht, um auf 33° Höhe zu bleiben, als derselbe Apparat ohne Umhüllung.

Die menschliche Haut verhält sich in ihrem Strahlungsvermögen vollkommen anders wie ein blankpolierter Zylinder.

Ihre Strahlung ist etwa von derselben Größenordnung wie die der Gewebe, die zur Kleidung verwandt werden.

Die Strahlung der menschlichen Haut ist genau so wie die jedes leblosen Körpers abhängig von der Temperaturdifferenz zwischen Oberflächentemperatur und Temperatur der bestrahlten Fläche. Physiologische, die Strahlung ändernde Einflüsse haben sich nicht nachweisen lassen.

Die Strahlungskonstante der Haut ist etwa 20% geringer als die der am wenigsten strahlenden Stoffe, soweit sie von mir geprüft sind. Trotzdem erreicht die Strahlung des mit Stoff umkleideten Armes niemals die des nackten, weil die durch die Umhüllung bewirkte Herabsetzung der Oberflächentemperatur die geringere Strahlungskonstante überkompensiert. Dies gilt aber nur für die von mir untersuchten Stoffe. Theoretisch wäre es denkbar, daß ein sehr dünner Stoff mit gutem Wärmeleitungsvermögen und hoher Strahlungkonstante mehr Wärme durch Strahlung verlöre, als die unbekleidete Haut es tut. Die relativen Strahlungskonstanten der verschiedenen Stoffe zeigen erhebliche Differenzen.

Was nun das Verhalten der von uns geprüften Kunstseiden angeht, so kann man sagen, daß sie sich bei den Versuchen in keiner Weise prinzipiell anders verhalten wie die Gewebe aus den übrigen Grundstoffen:

Ebenso wie andere Gewebe bedingen die Kunstseiden eine schnellere Abkühlung eines erwärmten blankpolierten Zylinders, als es der Fall wäre, wenn der Zylinder nicht mit Stoffen umhüllt wäre.

Die von mir untersuchten beiden reinen Kunstseidenstoffe und das Mischgewebe aus Kunstseide und Baumwolle verhielten sich um den Arm gespannt, in ihrer wärmesparenden Wirkung nicht wesentlich anders als glatte Stoffe aus den übrigen Grundstoffen bei ähnlicher Dicke.

Die Strahlungskonstante der von mir untersuchten glatten Kunstseidenstoffe war geringer als bei allen anderen Stoffen.

Literaturverzeichnis.

(1) Pettenkofer, Über die Funktion der Kleider. Zeitschr. f. Biologie. Bd. I. S. 180. 1865.
(2) Kl. Linroth, Einige Versuche über das Verhalten des Wassers in unseren Kleidern. Zeitschr. f. Biol. Bd. XVII. S. 184. 1881.
(3) S. Boubnoff, Zur Frage vom Verhalten gefärbter Zeuge zum Wasser und zur Luft. Arch. f. Hyg. Bd. I. S. 418. 1883.
(4) Bruno Müller, Über das Verhalten des Wassers zur Militärkleidung. Arch. f. Hyg. Bd. II. S. 1. 1884.
(5) Nocht, Vergleichende Untersuchungen über verschiedene zur Unterkleidung verwandte Stoffe. Ztschr. f. Hyg. Bd. V. S. 73. 1889.
(6) H. Reichenbach, Beiträge zur Lehre der Wasseraufnahme durch die Kleidung. Arch. f. Hyg. Bd. XIII. S. 113. 1891.
(7) Hiller, Weitere Beiträge zur Wärmeökonomie der Infanteristen auf dem Marsche. Dtsche. militärärztliche Zeitschr. Heft 7, 8, 9. 1886.
(8) N. P. Schierbeck, Eine Methode zur Bestimmung der Ventilation durch die Kleidung. Arch. f. Hyg. Bd. XVI. S. 203. 1893.
(9) Krieger, Untersuchungen und Beobachtungen über die Entstehung von entzündlichen und fieberhaften Krankheiten. Zeitschr. f. Biol. Bd. V. S. 476. 1869.
(10) Bachmann, Über die Bestimmung des Wärmehaltungsvermögens von Bekleidungsstoffen mit Hilfe des Hillschen Katathermometers. Deutsch. Med. Wo. Schr. Bd. 54. S. 146. 1928.
(11) Schuster, Über das Verhalten der trockenen Kleidungsstoffe gegenüber dem Wärmedurchgang. Arch. f. Hyg. Bd. VIII. S. 1. 1888.
(12) H. Reichenbach, Über den gegenwärtigen Stand unserer Kenntnis von den physikalischen Eigenschaften der Kleidung. Hyg. Rundschau. 4. Jahrg. S. 1057. 1894.
(13) M. Rubner, Über einige wichtige Eigenschaften unserer Kleidungsstoffe. Arch. f. Hyg. Bd. XV. S. 29. 1892.
(14) —, Vergleich des Wärmestrahlungsvermögens trockner Kleidungsstoffe. Arch. f. Hyg. Bd. XVI. S. 105. 1893.
(15) —, Das Strahlungsvermögen der Stoffe nach absolutem Maß. Arch. für Hyg. Bd. XVII. S. 1. 1893.
(16) Schuhmeister, Versuche über das Wärmeleitungsvermögen der Baumwolle, Schafwolle und Seide. Sitz. Ber. d. Wien. Akad. d. Wiss. Math. naturw. Kl. Bd. 76. 2. Abtl. 1877.
(17) M. Rubner, Das Wärmeleitungsvermögen der Grundstoffe unserer Kleidung. Arch. f. Hyg. Bd. XXIV. S. 265. 1895.
(18) — Das Wärmeleitungsvermögen der Gewebe unserer Kleidung. Arch. f. Hyg. Bd. XXIV. S. 346. 1895.
(19) Rich. Geigel, Wärmeregulation und Kleidung. Arch. f. Hyg. Bd. II. S. 318. 1884.
(20) O. Rumpel, Über den Wert der Bekleidung und ihre Rolle bei der Wärmeregulation. Arch. f. Hyg. Bd. IX. S. 51. 1889.
(21) H. Reichenbach, Über einen Apparat zur Registrierung des Wärmeverlustes durch die Witterung. Zeitschr. f. Hyg. u. Inf. Bd. 98. S. 528. 1922.

(22) A. Müller, Die Anwendung des „Davoser Frigorimeters" zur Bestimmung des Wärmehaltungsvermögens von Kleiderstoffen. Arb. a. d. Reichsgesundheitsamt. Bd. 57. S. 314. 1926.
(23) Jos. v. Vintschger, Das Wärmeisolierungsvermögen der Kleidungsstoffe, gemessen mit Hilfe des „Davoser Frigorimeters". Diss. Techn. Hochschule Zürich. 1928.
(24) Fr. Pels-Leusden, Zur Bestimmung des Wärmehaltungsvermögens von Bekleidungsstoffen. Zeitschr. f. Hyg. u. Inf. Bd. 109. S. 616. 1929.
(25) Kunkel, Sitzungsberichte der phys.-med. Ges. zu Würzburg. 1886.
(26) M. Rubner, Thermische Studien über die Bekleidung des Menschen. Arch. f. Hyg. Bd. XXIII. S. 13. 1895.
(27) H. Reichenbach und B. Heymann, Untersuchung über die Wirkung klimatischer Faktoren auf den Menschen. I. Mittlg., Beziehung zwischen Haut- und Lufttemperatur. Zeitschr. f. Hyg. u. Inf. Bd. 57. S. 1. 1907.

Lebenslauf.

Am 17. August 1905 wurde ich, Hermann Friedrich Johann Müller, als Sohn des Kaufmanns Hermann Müller in Geestemünde geboren. Ich besuchte das Realgymnasium meiner Vaterstadt. Nach bestandener Reifeprüfung fing ich Ostern 1924 das med. Studium auf der Universität Göttingen an. Nach 4 Semestern legte ich vor dem dortigen Prüfungsausschuß die ärztliche Vorprüfung ab. Die klinischen Semester verbrachte ich in Hamburg, Kiel (je 1 Semester) und Göttingen (4 Semester). Am 12. Juni 1929 beendete ich vor dem ärztlichen Prüfungsausschuß in Göttingen die ärztliche Prüfung.